

(51) Int.Cl.⁸
 H 0 1 S 3/18
 G 0 2 F 1/015
 H 0 4 B 10/28
 10/02

識別記号

5 0 5

F I

H 0 1 S 3/18
 G 0 2 F 1/015
 H 0 4 B 9/00

5 0 5

W

審査請求 未請求 請求項の数36 F D (全 44 頁)

(21) 出願番号 特願平9-202543

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月11日

(31) 優先権主張番号 特願平8-284693

(32) 優先日 平8(1996)10月7日

(33) 優先権主張国 日本(J P)

(31) 優先権主張番号 特願平8-334554

(32) 優先日 平8(1996)11月30日

(33) 優先権主張国 日本(J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-122926

(32) 優先日 平9(1997) 4月25日

(33) 優先権主張国 日本(J P)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 宮澤 誠一

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(74) 代理人 弁理士 加藤 一男

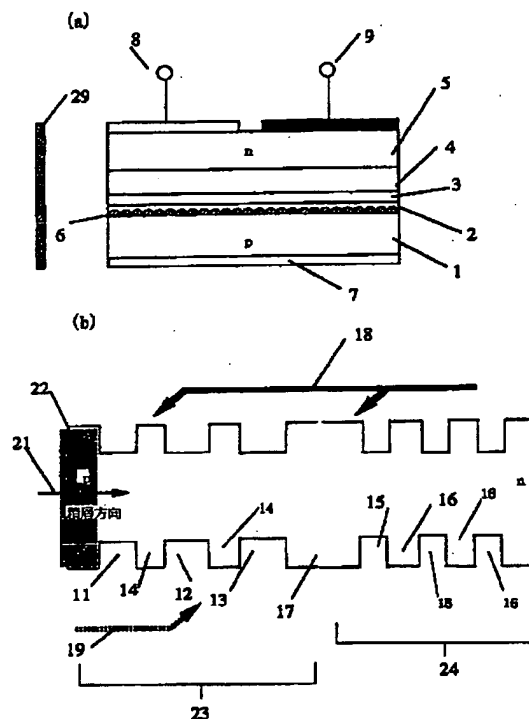
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光半導体デバイス、それを用いた光通信システム及び方法

(57) 【要約】

【課題】 T Eモード利得とT Mモード利得の均衡(ほぼ一致)した波長領域を広げることが可能な活性層構成を持った比較的成長回数が少なく作製できる低しきい電流密度のレーザ等の光半導体デバイスである。

【解決手段】 基板1上の活性領域3が、少なくとも1つの引っ張り歪み量子井戸11、12、13を含む複数の量子井戸11~16が積層されて形成されている。複数の量子井戸11~16が、互いにバンドギャップの異なる複数の量子井戸11、12、13を含む。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】基板上の活性領域が、少なくとも 1 つの引っ張り歪み量子井戸を含む複数の量子井戸が積層されて形成され、該複数の量子井戸が、互いにバンドギャップの異なる複数の量子井戸を含むことを特徴とする光半導体デバイス。

【請求項 2】基板上の活性領域が量子構造を有しており、該量子構造が、引っ張り歪みを導入した量子井戸と無歪みもしくは圧縮歪みを導入した量子井戸を積層した構造において、引っ張り歪みを導入した量子井戸と圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸の少なくとも一方を複数含む量子構造であり、前記複数含まれる量子井戸が互いにバンドギャップの異なる複数の量子井戸を含んでいることを特徴とする請求項 1 記載の光半導体デバイス。

【請求項 3】前記バンドギャップの異なる複数の量子井戸は、互いに井戸幅の異なる複数の量子井戸から構成されることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の光半導体デバイス。

【請求項 4】前記互いに井戸幅の異なる複数の量子井戸は、複数の引っ張り歪み量子井戸を含むことを特徴とする請求項 3 記載の光半導体デバイス。

【請求項 5】前記互いに井戸幅の異なる複数の量子井戸は、複数の圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸を含むことを特徴とする請求項 3 または 4 記載の光半導体デバイス。

【請求項 6】前記バンドギャップの異なる複数の量子井戸は、互いに歪み量の異なる複数の量子井戸から構成されることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の光半導体デバイス。

【請求項 7】前記互いに歪み量の異なる複数の量子井戸は、複数の引っ張り歪み量子井戸を含むことを特徴とする請求項 6 記載の光半導体デバイス。

【請求項 8】前記互いに歪み量の異なる複数の量子井戸は、圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸を含むことを特徴とする請求項 6 または 7 記載の光半導体デバイス。

【請求項 9】前記活性領域は、複数の引っ張り歪み量子井戸とその間の障壁層のみが積層されて形成され、複数の引っ張り歪み量子井戸の少なくとも 1 つの量子井戸は他の量子井戸とは異なるバンドギャップを有していることを特徴とする請求項 1 記載の半導体デバイス。

【請求項 10】前記バンドギャップの異なる複数の量子井戸は、互いに井戸幅の異なる複数の量子井戸から構成されることを特徴とする請求項 9 記載の光半導体デバイス。

【請求項 11】前記バンドギャップの異なる複数の量子井戸は、互いに歪み量の異なる複数の量子井戸から構成されることを特徴とする請求項 9 記載の光半導体デバイス。

【請求項 12】前記バンドギャップの異なる複数の量子井戸は、互いに歪み量及び井戸幅の異なる複数の量子井

戸から構成されることを特徴とする請求項 9 記載の光半導体デバイス。

【請求項 13】前記活性領域の構成において、複数の引っ張り歪み量子井戸における引っ張り歪みの量が 0.5 % から 0.75 % であることを特徴とする請求項 9 乃至 12 の何れかに記載の半導体デバイス。

【請求項 14】前記互いにバンドギャップの異なる複数の量子井戸の中で最もキャリアの閉じ込めの悪い量子井戸が少数キャリア供給側にあり、続いてこの量子井戸に隣接して最もキャリアの閉じ込めの良い量子井戸が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 13 の何れかに記載の光半導体デバイス。

【請求項 15】前記最もキャリアの閉じ込めの悪い量子井戸と最もキャリアの閉じ込めの良い量子井戸に続いて 3 層以降は、第 2 に閉じ込めの悪い井戸、続いて第 2 に閉じ込めの良い井戸、続いて第 3 に閉じ込めの悪い井戸、続いて第 3 に閉じ込めの良い井戸・・・とが形成されていることを特徴とする請求項 14 記載の光半導体デバイス。

【請求項 16】前記互いにバンドギャップの異なる複数の量子井戸の中で最もバンドギャップの広い量子井戸が少数キャリア供給側にあり、続いてこの量子井戸に隣接して最もバンドギャップの狭い量子井戸が形成されていることを特徴とする請求項 14 または 15 に記載の光半導体デバイス。

【請求項 17】前記互いにバンドギャップの異なる複数の量子井戸の中で最も井戸幅の狭い量子井戸が少数キャリア供給側にあり、続いてこの量子井戸に隣接して最も広い井戸幅を有した量子井戸が形成されていることを特徴とする請求項 14 または 15 に記載の光半導体デバイス。

【請求項 18】前記活性領域が、互いにバンドギャップの異なる複数の引っ張り歪み量子井戸及び互いにバンドギャップの異なる複数の圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸の少なくとも一方を有する場合において、該複数の引っ張り歪み量子井戸及び複数の圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸の少なくとも一方の中で最もバンドギャップの広い量子井戸が少数キャリア供給側にあり、続いてこの量子井戸に隣接して最もバンドギャップの狭い量子井戸が形成されていることを特徴とする請求項 14 または 15 に記載の光半導体デバイス。

【請求項 19】前記活性領域が互いにバンドギャップの異なる複数の引っ張り歪み量子井戸及び互いにバンドギャップの異なる複数の圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸の少なくとも一方を有する場合において、該複数の引っ張り歪み量子井戸及び複数の圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸の少なくとも一方の中で最も井戸幅の狭い量子井戸が少数キャリア供給側にあり、続いてこの量子井戸に隣接して最も広い井戸幅を有した量子井戸が形成されていることを特徴とする請求項 14 または 15 に記載の光

半導体デバイス。

【請求項 2 0】前記活性領域が、引っ張り歪みを導入した量子井戸と無歪みもしくは圧縮歪みを導入した量子井戸を積層した構造を有し、該引っ張り歪みを導入した量子井戸が積層された領域と該圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸が積層された領域とが障壁層を間に分離されていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 及び 1 4 乃至 1 9 の何れかに記載の光半導体デバイス。

【請求項 2 1】前記活性領域が、引っ張り歪みを導入した量子井戸と無歪みもしくは圧縮歪みを導入した量子井戸を積層した構造を有し、該引っ張り歪み量子井戸と圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸は混じりあって積層されていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 及び 1 4 乃至 1 9 の何れかに記載の光半導体デバイス。

【請求項 2 2】前記バンドギャップの異なる量子井戸は、少なくとも一部において、バンドギャップの広い量子井戸が少数キャリア供給側にあり多数キャリア供給側に向かうに従い量子井戸のバンドギャップが狭くなっていることを特徴とする請求項 1 乃至 2 1 の何れかに記載の光半導体デバイス。

【請求項 2 3】前記バンドギャップの異なる量子井戸は、少なくとも一部において、少数キャリア供給側から多数キャリア供給側に向かうに従い井戸幅が広くなる様に積層されていることを特徴とする請求項 2 2 記載の光半導体デバイス。

【請求項 2 4】前記複数の量子井戸間に形成される複数の障壁層は、少なくとも一部において、バンドギャップが、少数キャリア供給側からその反対側に向かうに従い広がっていることを特徴とする請求項 1 乃至 2 3 の何れかに記載の光半導体デバイス。

【請求項 2 5】前記複数の量子井戸間に形成される複数の障壁層は、少なくとも一部において、障壁層の幅が、少数キャリア供給側からその反対側に向かうに従い厚くなっていることを特徴とする請求項 1 乃至 2 3 の何れかに記載の光半導体デバイス。

【請求項 2 6】前記活性領域はノンドーパか或は一部または全体に N 型ドーピングされていることを特徴とする請求項 1 乃至 2 5 の何れかに記載の光半導体デバイス。

【請求項 2 7】前記活性領域の一部または全体に P 型ドーピングされていることを特徴とする請求項 1 乃至 2 5 の何れかに記載の光半導体デバイス。

【請求項 2 8】分布帰還型半導体レーザとして構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 2 7 の何れかに記載の光半導体デバイス。

【請求項 2 9】共振器方向に複数の領域が並び、夫々に独立に電流注入可能に構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 2 8 の何れかに記載の光半導体デバイス。

【請求項 3 0】前記複数の領域の少なくとも 2 つが構造的に伝搬定数が異なる様に構成されていることを特徴とする請求項 2 9 記載の光半導体デバイス。

【請求項 3 1】前記活性領域を共通の活性層として持ち、発振波長の異なる複数の偏波変調レーザがレーザストライプと直交する方向に並んだアレーレーザとして構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 0 の何れかに記載の光半導体デバイス。

【請求項 3 2】請求項 1 乃至 3 1 の何れかに記載の光半導体デバイスと、該光半導体デバイスから出射する光の内、2 つの偏波モードの一方の発振による光のみを取り出す偏光選択手段とからなることを特徴とする光源装置。

【請求項 3 3】請求項 1 乃至 3 1 の何れかに記載の光半導体デバイスと、該光半導体デバイスが出射する光の内、2 つの偏波モードの一方の発振による光のみを取り出す偏光選択手段とからなる光源装置を備えた光送信機または送受信機、前記偏波選択手段によって取り出された光を伝送する伝送手段、及び前記伝送手段によって伝送された光を受信する光受信機または送受信機からなることを特徴とする光通信システム。

【請求項 3 4】請求項 1 乃至 3 1 の何れかに記載の光半導体デバイスと、該光半導体デバイスが出射する光の内、2 つの偏波モードの一方の発振による光のみを取り出す偏光選択手段とからなる光源装置を用い、所定のバイアス電流に送信信号に応じて変調された電流を重畳して前記光半導体デバイスに供給することによって、前記偏光選択手段から送信信号に応じて強度変調された信号光を取り出し、この信号光を光受信機または送受信機に向けて送信することを特徴とする光通信方式。

【請求項 3 5】発振光を 2 つの偏波モードの間で偏波スイッチングして偏波変調半導体レーザとして用いる請求項 1 乃至 3 1 の何れかに記載の光半導体デバイスの駆動法であって、所定のバイアス電流に送信信号に応じて変調された電流を重畳して該光半導体デバイスに供給することによって発振光を 2 つの偏波モードの間で偏波スイッチングすることを特徴とする駆動法。

【請求項 3 6】請求項 1 乃至 3 1 の何れかに記載の光半導体デバイスの使用法であって、該光半導体デバイスをしきい値付近までバイアスした状態で光を入射させ偏波依存性の小さな光増幅器として用いることを特徴とする使用法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】本発明は、高速変調時においても動的波長変動を抑えて直接変調方式での駆動が可能で偏波スイッチングする偏波変調半導体レーザ、偏波無依存の光増幅器などの光半導体デバイス、それを用いた光通信システム及び方法などに関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】従来、発振光を偏波状態の異なる偏波モード間で変調できる偏波スイッチング可能な動的単一モード (Dynamic Single Mode) 半導

体レーザとして、小振幅のデジタル信号を注入バイアス電流に重畳してデジタル偏波変調を可能にする素子構造が提案されている（例えば、特開平 7 - 1 6 2 0 8 8 号公報を参照）。これは、グレーティングからなる分布反射器を半導体レーザ共振器内部に導入し、その波長選択性を利用する構造の DFB レーザであった。この DFB レーザでは、発振波長近傍の波長の光の TE モード、TM モードについて、発振しきい値程度の電流注入下の利得をおおよそ同程度のものとする為に、バルク活性層を用いたり、または活性層の量子井戸に歪を導入してブラッグ波長を利得スペクトルのピーク波長よりも短波長側に設定している。そして、複数の電極を持つ構成とし、これらの複数の電極に対して不均一に電流注入を行うものであった。

【0003】この構成においては、不均一電流注入によって共振器の等価屈折率を不均一に変化させることにより、TE モードと TM モードのうちで、位相整合条件を満たして最低のしきい値利得となる波長と偏波モードで発振が起こる。ここで、不均一注入のバランスを僅かに変えることで TE モードと TM モード間の位相整合条件の競合関係（位相整合条件を満たした状態でどちらのモードのしきい値が低くなるか）が変化して、発振波長と発振偏波モードを変えることができるというものであった。このデバイスでは、発振光出力側（一方の電極が設けられた出力側には出力のパワーを変動させない為に変調電流成分を注入しない）と変調側（他方の電極が設けられた側）に対する不均一注入の効果を非対称に引き出すためには、出力側を片面無反射コーティングとすると

いう構造的な非対称性、或は、2つの電極長を変えると

【0004】また、特開平 2 - 1 1 7 1 9 0 号公報において、マルクスクリスチャン・アマン等は、直列または並列に接続された 2 つの半導体デバイスからなり、その一方は主として特定の偏光状態の波を発生または増幅し、他方は主として別の偏光状態の波を発生または増幅し、それらを 1 つの共同層または互いに平行する層に設けている半導体レーザ装置を提案している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記した位相条件で発振偏波モードを選択する（位相条件を満たす波長において、しきい値の低い方の偏波モードの発振が選択されということ）DFB 系の偏波スイッチングレーザでは、共振器内で、TE モード利得と TM モード利得を同程度にすることが重要である。この為の活性層の構成としては、TE モード利得と TM モード利得が同程度となるバルク活性層を形成する方法、又は、歪みなどを入れ TM モード利得を優位にした活性層を TE モード利得を発生する活性層と直列に形成する方法（特開平 2 - 1 1 7 1 9 0 号公報）などが提案されている。

【0006】しかしながら、これらの構成は次の様な問

題を有している。バルク活性層は、TE モードの利得および TM モードの利得が等しくなるが、しきい電流が高くなる傾向にある。従って、量子化などによりしきい電流を低減する必要がある。

【0007】一方、特開平 2 - 1 1 7 1 9 0 号公報で提案されている TM モード利得および TE モード利得が夫々優位な活性層を直列または並列に形成する方法では、異なる歪み量の活性層を形成するために成長回数が増加し、作製工程が複雑となる。

【0008】また、これら活性層では、しきい値付近において利得がほぼ一定となる波長帯域幅が狭い。例えば、単純な量子井戸では、利得がピークから 3 [dB] 落ちとなるピーク波長を含む波長域は 20 nm 程度になっている。よって、活性層の利得ピーク付近の波長の制御およびグレーティングピッチの制御の困難さを考えると、これら利得ピーク波長、グレーティングピッチを細かく制御して再現性良く波長の安定した低しきい電流のレーザを作製することは困難である。

【0009】加えて、TE モードの利得と TM モードの利得がほぼ均一になって均衡する夫々の波長領域を互いに一致させることを考えると、各モードにおいて利得がほぼ一定となる波長領域は広いことが望ましい。さらに、同一の共通活性層を用いて波長の異なる複数のレーザから成るアレーレーザを実現しようと考えた場合には、上記各利得がほぼ均一となる波長領域を広げることが必要となる。

【0010】よって、本発明の目的は、上記の課題に鑑み、比較的成長回数が少なく作製できる低しきい電流密度のレーザ等の光半導体デバイスを実現すると共に、TE モード利得と TM モード利得の均衡（ほぼ一致）した波長領域を広げることが可能にする活性層構成を持った光半導体デバイス、それを用いた光通信システム及び方法などを提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の光半導体デバイスは、基板上の活性領域が、少なくとも 1 つの引っ張り歪み量子井戸を含む複数の量子井戸が積層されて形成され、該複数の量子井戸が、互いにバンドギャップの異なる複数の量子井戸を含むことで、TE モードと TM モードの両方で或る程度の利得を有する波長領域を比較的広く設定できる基本構成を達成している。この基本構成によれば、量子井戸の層数、歪みの種類と程度、組成、厚さ、異なるバンドギャップの設定態様によって、TE モードと TM モードの利得が均衡する波長領域のその均衡の仕方と波長範囲を柔軟に設定できる。

【0012】ここで、本明細書において、量子井戸或は障壁層のバンドギャップと言うときは、量子準位間の遷移エネルギーに相当することを意味する。このバンドギャップは量子井戸或は障壁層（以下、量子井戸で代表す

る) の材料組成によつて一意に決まるものではなく、量子井戸の組成、厚さ、導入される歪量によって決まるものである。一般に電子の準位と重い正孔の準位の間の遷移は主にTE光に対して利得を与え、電子の準位と軽い正孔の準位の間の遷移は主にTM光に対して(但し電子の準位と軽い正孔の準位の間の遷移はTE光に対しても或る程度の)利得を与える。よつて、引っ張り歪みを導入した量子井戸を複数含む構成において、それぞれの量子井戸でバンドギャップを異ならせ(各量子井戸における電子の準位と軽い正孔の準位の間の遷移エネルギーを異ならせ)ることにより、主にTM光に対して或る程度以上の利得が得られる波長域を広げることができ、無歪みもしくは圧縮歪みを導入した量子井戸を複数含む構成において、それぞれの量子井戸でバンドギャップを異ならせ(各量子井戸における電子の準位と重い正孔の準位の間の遷移エネルギーを異ならせ)ることにより、主にTE光に対して或る程度以上の利得が得られる波長域を広げることができる。

【0013】但し、引っ張り歪みが導入され正孔の基底準位が軽い正孔の準位になった量子井戸は、電子の準位と軽い正孔の準位の間の遷移がTM光のみならずTE光に対しても利得を与えるので、及び／又は、基底準位以外の正孔の準位と電子の準位間での遷移も起こりうるので、無歪みもしくは圧縮歪みを導入した量子井戸を含まず、引っ張り歪みを導入した量子井戸を複数含む構成においても、各量子井戸の組成、厚さ、歪量を異ならせることにより、TE光に寄与する遷移エネルギーが各量子井戸で異なるようにすることもでき、TE光に対して或る程度以上の利得が得られる波長域も広げることができる(このことは以下の第2の構成で利用される)。

【0014】また、基底準位以外の準位のうちの軽い正孔の準位と電子の準位との間での遷移も起こりうるので、引っ張り歪みが少ない場合や、無歪みもしくは圧縮歪みの量子井戸であつて正孔の基底準位が重い正孔の準位である場合であっても、該量子井戸の組成や厚さや歪量が互いに異なる量子井戸を複数設けることにより、TE光に対する利得のみならず、TM光に対する利得が或る程度以上になる波長域を広げることができる。

【0015】この様に、複数の量子井戸の組成や厚さや歪量などを適宜設定することにより、バンドギャップを異ならせ、2つの偏波モードに対して広い利得スペクトルを得ることができる。本発明の光半導体デバイスはこの趣旨を利用しているのである。

【0016】また、本発明の量子構造が、引っ張り歪みを導入した量子井戸を複数含む、該複数含む量子井戸を積層した量子構造であるか、もしくは、引っ張り歪みを導入した量子井戸と無歪みもしくは圧縮歪みを導入した量子井戸を積層した構造において引っ張り歪みを導入した量子井戸と無歪みもしくは圧縮歪みを導入した量子井戸の少なくとも一方を複数含む量子構造であるのは(よ

り包括的に言えば、少なくとも1つの引っ張り歪み量子井戸を含む複数の量子井戸が積層されて形成される量子構造であるのは)、それぞれの井戸における歪量及び井戸幅の制御により、及び／又は、各井戸毎の各偏波に対する利得を考慮することにより、2つの偏波モードに対する利得を近づけること、例えばその利得差が数デシベル内に収まるようにすることができるからである。

【0017】本発明の光半導体デバイスでは、上記の基本構成及び認識を前提にして、以下の構成を採用することで、より効果的に上記目的を達成できる。

【0018】第1の構成では、基板上の活性領域が量子構造を有しており、該量子構造が、引っ張り歪みを導入した量子井戸と無歪みもしくは圧縮歪みを導入した量子井戸を積層した構造において、引っ張り歪みを導入した量子井戸と圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸の少なくとも一方を複数含む量子構造であり、前記複数含まれる量子井戸が互いにバンドギャップの異なる複数の量子井戸を含んでいる。引っ張り歪み量子井戸と共に無歪みもしくは圧縮歪みの量子井戸を形成し、更に少なくとも一方を複数含む量子構造とすることでTEモードとTMモードの利得の均衡をより容易に達成できる。

【0019】上記構成において、複数の量子井戸のバンドギャップを異ならせて各井戸の利得の波長域を互いに適当にずらせるには、互いに井戸幅を異ならせる手法や、互いに歪み量を異ならせる手法がある(このことは以下の第2、第3の構成でも言える)。また、互いにバンドギャップの異なる複数の量子井戸の中に、複数の引っ張り歪み量子井戸を含ませたり、複数の圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸を含ませたりすれば、利得均衡の程度と波長範囲をより柔軟に設定できる(このことは以下の第3の構成でも言える)。

【0020】第2の構成では、活性領域が、複数の引っ張り歪み量子井戸とその間の障壁層のみが積層されて形成され、複数の引っ張り歪み量子井戸の少なくとも1つの量子井戸は他の量子井戸とは異なるバンドギャップを有している。井戸に引っ張り歪みを導入した活性層を用いることにより、TEモード利得とTMモード利得を拮抗させて発生させるとともに、活性層の井戸を多層構成とすることにより、各井戸から発生する利得の波長域を変化させて、TE/TMモードの利得が拮抗した波長帯域を広げている。

【0021】この第2の構成において、より具体的には、以下の様に構成することができる。各井戸のバンドギャップを変化させて各井戸から発生する利得の波長域を変化させる手段として、引っ張り歪みの井戸の歪み量及び／または井戸幅を変えることによりTE/TMモードの利得が拮抗した波長帯域を広げる。特に、複数の引っ張り歪み量子井戸における引っ張り歪みの量が0.5%から0.75%であれば、後述する様に引っ張り歪み量子井戸のみでTE/TMモードの利得が拮抗した波長

帯域を充分広げられる。これは活性領域内の井戸がすべて引っ張り歪みの場合（圧縮歪の量子井戸を用いることなく活性領域において 2 つの偏波の利得を拮抗させる構成）の歪量を限定するものである。

【0022】第 3 の構成では、互いにバンドギャップの異なる複数の量子井戸の中で最もキャリアの閉じ込めの悪い量子井戸が少数キャリア供給側（ノンドープか N 型ドープのときはホールが供給される側であり、P 型ドープのときは電子が供給される側である）にあり、続いてこの量子井戸に隣接して最もキャリアの閉じ込めの良い量子井戸が形成されている（圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸と引っ張り歪みの量子井戸について別個に考えてもよいし、混合的に考えてもよい）。これにより、動きにくいキャリアの各井戸への供給を改善でき、TE/TM モードの利得が良好に拮抗した波長帯域を広げている。即ち、利得が得にくい波長領域に優先的に利得を供給する構成を実現するものである。

【0023】この第 3 の構成において、より具体的には、以下の様に構成される。前記互いにバンドギャップの異なる複数の量子井戸の中で最もバンドギャップの広い量子井戸が少数キャリア供給側にあり、続いてこの量子井戸に隣接して最もバンドギャップの狭い量子井戸が形成されている。この構成では、キャリアの閉じ込めが悪いという要件をバンドギャップが広いとして規定している。また、前記互いにバンドギャップの異なる複数の量子井戸の中で最も井戸幅の狭い量子井戸が少数キャリア供給側にあり、続いてこの量子井戸に隣接して最も広い井戸幅を有した量子井戸が形成されている。この構成では、キャリアの閉じ込めが悪いという要件を井戸幅が狭いとして規定している。

【0024】上記の各構成において、適用できる範囲で以下のような構造を取り得る。前記活性領域が、引っ張り歪みを導入した量子井戸と無歪みもしくは圧縮歪みを導入した量子井戸を積層した構造を有し、引っ張り歪みを導入した量子井戸が積層された領域と圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸が積層された領域とが障壁層を間にして分離されている。また、前記活性領域が、引っ張り歪みを導入した量子井戸と無歪みもしくは圧縮歪みを導入した量子井戸を積層した構造を有し、引っ張り歪み量子井戸と圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸は混じりあって積層されている。

【0025】また、前記バンドギャップの異なる量子井戸は、少なくとも一部において、バンドギャップの広い量子井戸が少数キャリア供給側にあり多数キャリア供給側に向かうに従い量子井戸のバンドギャップが狭くなっている。この結果、更に有効に活性層全体に渡りキャリアを供給でき、ほぼ均一な利得を得ることが可能となる。また、前記バンドギャップの異なる量子井戸は、少なくとも一部において、少数キャリア供給側から多数キャリア供給側に向かうに従い井戸幅が広くなる様に積層

されている。この場合も、更に有効に活性層全体に渡りキャリアを供給できる。

【0026】また、前記複数の量子井戸間に形成される複数の障壁層は、少なくとも一部において、バンドギャップが、少数キャリア供給側からその反対側に向かうに従い広がっている。また、前記複数の量子井戸間に形成される複数の障壁層は、少なくとも一部において、層の幅が、少数キャリア供給側からその反対側に向かうに従い厚くなっている。これらの場合も、更に有効に活性層全体に渡りキャリアを供給できる。

【0027】また、前記活性領域はノンドープか或は一部または全体に N 型ドーピングされている。また、前記活性領域の一部または全体に P 型ドーピングされている。これにより、全体のしきい値が低減されると共に、活性層全体に拡散長の短い P 型キャリアが充分に供給され、更に有効に活性層全体に渡りほぼ均一な利得を得ることが可能となる。

【0028】また、共振器方向に複数の領域が並び、夫々に独立に電流注入可能に構成されている。この場合、前記複数の領域の少なくとも 2 つを構造的に伝搬定数が異なる様に構成してもよい。

【0029】また、前記活性層の領域を共通の活性層として持ち、発振波長の異なる複数の偏波変調レーザがレーザストライプと直交する方向に並んだアレーレーザとして構成することもできる。

【0030】更に、上記目的を達成する為の本発明による光源装置は、上記の光半導体デバイスと、該光半導体デバイスから出射する光の内、2 つの偏波モードの一方の発振による光のみを取り出す偏光板などの偏光選択手段とからなることを特徴とする。

【0031】更に、上記目的を達成する為の本発明による光通信システムは、上記の光半導体デバイスと、該光半導体デバイスが出射する光の内、2 つの偏波モードの一方の発振による光のみを取り出す偏光選択手段とからなる光源装置を備えた光送信機または送受信機、前記偏波選択手段によって取り出された光を伝送する伝送媒体、及び前記伝送媒体によって伝送された光を受信する光受信機または送受信機からなることを特徴とする。

【0032】更に、上記目的を達成する為の本発明による光通信方式は、上記の光半導体デバイスと、該光半導体デバイスが出射する光の内、2 つの偏波モードの一方の発振による光のみを取り出す偏光選択手段とからなる光源装置を用い、所定のバイアス電流に送信信号に応じて変調された電流を重畳して前記光半導体デバイスに供給することによって、前記偏光選択手段から送信信号に応じて強度変調された信号光を取り出し、この信号光を光受信機または送受信機に向けて送信することを特徴とする。

【0033】

【発明の実施の形態】以下に本発明の趣旨に沿って構成

された光半導体デバイス等の実施の形態を図面を用いて説明する。

【0034】第1実施例

図1、図2、図3を用いて第1実施例を説明する。図1(a)は本発明の第1実施例の偏波変調半導体DFBレーザの全体構成である。共振器方向の断面図である図1(a)において、1は基板であるところのP-InP膜であり、この上に6に示す高さ500Åの回折格子を形成し、続いて、2に示すBe-doped InGaAs P光ガイド層を0.15μm形成している。これまでは活性層以下の構成である。この上に、3に示す活性領域を形成し、続いて、4に示す光ガイド層を含んだ上部クラッド層を形成する。上部光ガイド層はSi-doped InGaAs P膜により出来ており、厚みは0.2μmであり、上部クラッド層はSi-doped InP層で形成され厚みは1.5μmである。この上に、5のコンタクト層であるSi-doped InGaAsを0.3μm形成し、成長を終了する。また、図1(a)中の7はP側電極であり、Cr/Auを使用した。8と9はN側電極であり、このレーザの多電極化を行った。29は偏光子であり、偏波変調レーザからの光のうち一方の偏波モードの光のみを選択する。

【0035】次に、図1(b)を用いて、活性領域3の層構成について説明する。図1(b)中、21に示した矢印は積層方向を示している。22はBeがドーピングされた光ガイド層領域で図1(a)中では光ガイド層2に相当する。活性層3の構成は、23に示した引っ張り歪みの領域と24の無歪みの領域に分かれる。まず、引っ張り歪み領域23の構成について説明する。光ガイド層22上に、まず、undoped InGaAsによる井戸11を90Å成長している。ここの井戸11は引っ張り歪みを入れており、歪み量は1.0%である。続いて、14に示したバリア層を形成する。この層14はundoped InGaAs Pにより構成されており、膜厚は70Åである。歪み量は圧縮歪みを0.2%を加えている。ここで引っ張り歪みの反対の圧縮歪みを入れているのは、歪み補償効果で井戸層の結晶性を良くする為である。

【0036】この上に、12に示す井戸を積層する。undoped InGaAsにより構成されており、膜厚は110Åである。引っ張り歪み量は1.0%である。続いて、バリア層を70Å形成している。構成はバリア層14で示したものと同一である。この上に、13に示すundoped InGaAsの井戸を130Å形成する。引っ張り歪み量は1.0%である。以上が引っ張り歪み領域23の構成である。11、12、13に示した井戸層の幅を変化させること(90Å、110Å、130Å)により、各井戸の量子準位が変化し量子準位間遷移エネルギーに相当するバンドギャップが異なり、発光波長が変化する。よって、それぞれの井戸1

1、12、13による利得の波長域が好都合に連続して重なり合い、広帯域にて或る程度の大きさでほぼ均一な利得(TEモード利得も得られるが主にTMモード利得である)を得ることが可能となる。

【0037】図2は、利得分布を示したものである。図2の縦軸は利得を示し、横軸は波長を示している。ここで用いた井戸11、12、13により、図2の28に示すように、TMモードは、1480nmから1530nmに渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。

【0038】図1(b)の引っ張り歪み領域23において幅の狭い井戸をP導電型層寄りに配置した理由は、以下の通りである。P型のホールキャリアの拡散距離がN型の電子に比べ比較的短く、N側の電子は図1(b)の18に示す様に活性層全体に供給されるのに対して、ホール19の拡散長は短く、初期的にはP側にある井戸の方が利得を得やすい。一方、井戸の幅が狭いと量子準位が上がり、キャリアの閉じ込めが悪くなる。この結果、幅の狭い井戸がP導電型層から離れて形成されると利得を発生しにくくなると考えられる。よって、キャリアの閉じ込めの低下を補う為に幅の狭い井戸ほどP側に形成しているのである。この結果、図2にも示した様に、引っ張り歪み領域23での各井戸11、12、13の利得を調整することができ、広帯域でほぼ均一の利得を得ることができた。この構成においても利得の均一化が十分に図れない場合は、利得が小さい波長帯域の井戸を増やすなどの対応をすればよい。この場合においても、引っ張り歪み領域23においては、幅の狭い井戸がP側に配置されていることが望ましい。

【0039】ここで、11、12、13の井戸に用いた引っ張り歪みは、既に述べたように、TMモードだけでなくTEモードの利得も発生する。引っ張り歪み量1.0%の井戸では、引っ張り歪み井戸から発生するTEモードの利得ピークはTMモードの利得ピークよりも短波長側になり、しきい値付近で約20nmの差となっている。

【0040】続いて、TEモードを発生する無歪み活性領域の構成について記述する。先ず、引っ張り歪み井戸13の上に、引っ張り歪み活性領域23と無歪み活性領域24を分離する17に示したバリアを形成する。組成はundoped InGaAs Pであり、厚みは100Åである。この上に、15に示す無歪みのundoped InGaAsを6nm形成する。続いて、16で示すバリア層であるundoped InGaAs Pを形成する。これには歪みは入れていなくて、厚みは70Åである。井戸は同一のものを3層積層し、バリアも同一のものを2層積層した。以上が24に示す無歪み活性領域の構成である。

【0041】この無歪み活性領域24の発光波長は1500nmを中心として、利得のほぼ均一な幅は約20nm程度となる。本実施例において、TEモードの利得

は、この無歪み活性領域 2 4 により発生する利得と、引
 っぱり歪み領域 2 3 により発生する TE モード利得とに
 より形成される。よって、無歪み井戸により発生する TE
 モードの利得の均一利得帯域よりも広くなり、図 2 の
 2 7 に示す様に、TE モードは、約 1 4 8 0 nm から 1
 5 2 0 nm と約 4 0 nm の帯域においてほぼ均一な利得
 を得ることができた。

【0 0 4 2】この様な構成を有した第 1 実施例のレーザ
 の駆動方法について図 1 (a) と図 3 (a)、(b)、
 (c) を用いて説明する。図 3 において、縦軸は光出力
 の相対値であり、横軸は波長である。図 3 (a) に、電
 極 8 および 9 に電流を供給した時の発光スペクトルを示
 す。電極 8 および 9 が形成されている領域（電極 8 の領
 域は光出射側であり、この前に偏光子 2 9 が置かれる）
 に注入する電流により TE モードと TM モードの発光ス
 ペクトルの位置、差が変わる。上が電極 8 が形成されて
 いる領域の各モードの発光スペクトルを示し、下が電極
 9 が形成されている領域の各モードの発光スペクトルを
 示す。ここでは、両モードの発光スペクトルは殆ど一致
 していてまた各モードの発光スペクトルピークの位置が
 分かることが重要であるので、分かりやすい様に両モー
 ドの発光スペクトルは 1 つのスペクトルの如く描いてあ
 る。

【0 0 4 3】電極 8 には、電極 8 の領域と電極 9 の領域
 の各モードの発光スペクトルピークが一致した時に該モー
 ドで発振するのに十分な電流を供給しておく。このとき
 発生するスペクトルは図 3 (a) の 9 1 に示す様になる。
 ここで、9 3 は TM モードのストップバンド（正確
 にはストップバンドの一方の端のピークであり、回折格
 子 6 に $\lambda/4$ シフトなどが導入されていれば、これはス
 トップバンドの中央の安定した所に立つ）であり、9 4
 は TE モードのストップバンドである。2 つのストップ
 バンドの波長差は数 nm 程度となる。

【0 0 4 4】一方、電極 9 には、電極 8 より僅かに大き
 な電流を流す。この場合のスペクトルは図 3 (a) の 9
 2 の様になる。ここで、9 5 は TM モードのストップバ
 ンドで、9 6 は TE モードのストップバンドである。この
 領域のスペクトル 9 2 の TM モードのストップバンド
 9 5 と TE モードのストップバンド 9 6 の波長差は、電
 極 8 の領域のスペクトル 9 1 に比べ広がる。電流の注
 入が増えるとキャリアにより屈折率が低下する効果（プ
 ラズマ効果）と、熱が発生して屈折率が増加する効果
 があるが、直流成分においては熱による効果が大きい。こ
 の為、電流が僅かに大きい電極 9 の領域の方が各モー
 ドのスペクトル各部の波長が長く、且つモード間のス
 トップバンド 9 5、9 6 の波長差も大きくなる。

【0 0 4 5】スイッチング動作について説明する。図 1
 (a) に示したレーザ構造において、9 の電極に加える
 電流を僅かに増やす。すると、図 3 (b) の 9 7 に示す
 様にこの領域のスペクトル 9 2 は、キャリアによる屈折

率低下の効果により（この場合は直流成分ではないから
 プラズマ効果が効く）、短波長側にずれ（紙面で左にず
 れる）、TM モードのストップバンド 9 5 が、9 8 に示
 す様に電極 8 の領域のスペクトル 9 1 の TM モードのス
 トップバンド 9 3 と一致する現象が生ずる。この結果、
 共振器全体での TM モードの利得が増大し TM モードで
 レーザ発振が起こる。

【0 0 4 6】続いて、TE モード発振について説明す
 る。9 の電極の電流を更に増加させるか、または 8 の電
 極の電流を減らすかすることにより、TE モードのス
 トップバンド 9 4 および 9 6 を一致させる。図 3 (c) を
 用いて説明する。電極 9 の電流を更に増加させると、こ
 の領域のスペクトル 9 2 は、1 0 0 に示す様にさらに短
 波長側にずれる。この結果、スペクトル 9 2 の TE モー
 ドのストップバンド 9 6 とスペクトル 9 1 の TE モー
 ドのストップバンド 9 4 が 1 0 1 に示す様に一致し、共振
 器全体での TE モード利得が増大し TE レーザで発振す
 る。

【0 0 4 7】TE モードのストップバンドを一致させる
 方法としては、電極 8 の電流を減少させることにより、
 スペクトル 9 1 を長波長側に図 3 (c) の 9 9 に示すよ
 うにシフトさせ、TE モードのストップバンド 9 4 およ
 び 9 6 を一致させる方法もある。このスイッチングに使
 用する電流量は数 mA 以下で、TE モードと TM モー
 ドの間でスイッチングできる。

【0 0 4 8】既に説明したように、数 mA 以下の微小電
 流による屈折率の変化は、熱的要素は小さく、キャリア
 による屈折率変化が支配的だと考えられる。同様に、数
 n s e c 以下の高速変調の場合も、電流による屈折率変
 化が主流であると考えられる。よって、高速変調が可能
 という利点を有する。本実施例は、基本的に、それぞれの
 電極 8、9 の領域の伝搬定数を異ならせ、電流により、
 それぞれの電極の領域の屈折率を変えることができ
 れば、構築可能である。それぞれの電極の領域の伝搬定
 数ないし屈折率を変える方法としては、上記の様に注入
 キャリアに差を設ける方法以外に、活性層を含め光が広
 がっている領域（特に、光ガイド層）の厚みを変える方
 法や、活性層を含め光が広がっている領域（特に、光ガ
 イド層）の組成を変える方法などがあげられる。

【0 0 4 9】本構成では、活性層における TE モードと
 TM モードの利得差が小さく、広帯域において両モー
 ドの利得が均衡していて安定な為に、安定に TE モードと
 TM モード間でスイッチングするレーザが作製できる。
 TE モードと TM モードのスイッチング法としては、直
 接 TE モードと TM モードの利得の大きさを変える方法
 もある。この場合、多電極でも、単電極でもスイッチ
 ングが可能である。

【0 0 5 0】また、本構成においてはストップバンドを
 抑制する構成は特に言及していないが、片面低反射コー
 トを用いたり、 $\lambda/4$ シフトを用いて単一縦モードを実

現する構成も容易である。

【0051】以上説明した様に、引っ張り歪みの活性領域において、利得のほぼ均一な帯域を広くする為に井戸の幅を変え、且つ幅の狭い井戸をP側に配置することにより、利得が広帯域においてほぼ均一な半導体レーザなどの光半導体デバイスを実現することができた。

【0052】尚、幅を異ならせる井戸は引っ張り歪み井戸に限ったことではなく、無歪み井戸でもよく、これでも利得のほぼ均一な帯域の改善が可能である。また、狭い井戸をP側に形成する条件としては、活性層の中の井戸またはバリアがノンドープかN型ドープであることが必要である。ここで、ノンドープとは意図的にドーピングしていないことを指す。

【0053】第2実施例

図4、図5、図6を用いて本発明の第2の実施例について説明する。図4は共振器方向の断面の全体構成である。図4において、31は基板であるところのP-InP膜であり、この上に、37に示す高さ400Åの回折格子を形成し、続いて、32に示すBe-doped InGaAsP光ガイド層を0.1μm形成している。これまでも活性層以下の構成である。この上に、33に示す活性領域を形成し、続いて、34の光ガイド層を積層する。光ガイド層34の構成はSi-doped InGaAsPで、組成はバンドギャップ波長1.15μmに合わせており、膜厚は0.1μmである。続いて、35に示す上部クラッド層であるSi-doped InP膜を1.5μm形成した後、36のコンタクト層であるSi-doped InGaAsを0.4μm形成し、成長を終了する。また、図4中の38はP側電極であり、Cr/Auを使用した。また、39と40はN側電極であり、このレーザの多電極化を行っている。

【0054】図5を用いて活性層33の構成について説明する。第2実施例の特徴は、井戸幅を変えることによる利得安定な波長帯域の拡大の実現を、引っ張り歪み活性領域のみでなく、圧縮歪み活性領域に拡大して行なっている点にある。図5中、52に示した矢印は積層方向を示している。32はBeがドーピングされた光ガイド層領域である。活性層33の構成は、53に示した引っ張り歪みの領域と54の圧縮歪みの領域に分かれる。

【0055】まず、53の引っ張り歪み領域の構成について説明する。光ガイド層32上に、まず、41に示すundoped InGaAsによる井戸を80Å成長している。この井戸41は引っ張り歪みを入れており、歪み量は0.8%である。続いて、44に示したバリア層を形成する。この層44はundoped InGaAsPにより構成されており、膜厚は100Åである。歪み量は圧縮歪みを0.2%を加えている。この上に、42に示す井戸を積層する。この井戸層42はundoped InGaAsにより構成されており、膜厚は100Åであり、引っ張り歪み量は0.8%である。続いて

て、バリア層を100Å形成している。構成は44に示したバリア層と同じである。この上に、43に示すundoped InGaAsの井戸を120Å形成する。引っ張り歪み量は0.8%である。以上が53に示した引っ張り歪み領域の構成であり、41、42、43に示した井戸の幅を変化させることにより、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する。よって、それぞれの井戸41、42、43による利得が補って重なり合い、広帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。

【0056】図6は、利得分布を示したものである。図6の縦軸は利得を示し、横軸は波長を示している。ここで用いた井戸により、図6の58に示すように、TMモードは1480nmから1520nmに渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。

【0057】図5の引っ張り歪み領域53において幅の狭い井戸をP導電型層寄りに配置した理由は、第1実施例において述べた理由と同じである。この結果、図6にも示した様に、引っ張り歪み領域53での各井戸41、42、43の利得を調整することができ、広帯域でほぼ均一の利得を得ることができた。この構成においても利得の均一化が図れない場合は、利得が小さい波長帯域の井戸を増やすなどの対応をすればよい。この増やした場合においても、引っ張り歪み領域においては、幅の狭い井戸がP側に配置されていることが必要である。

【0058】続いて、TEモードを発生する圧縮歪み活性領域54の構成について記述する。43に示した引っ張り歪み井戸の上に、45に示した引っ張り歪み活性領域53と圧縮歪み活性領域54を分離するバリアを形成する。組成はundoped InGaAsPであり、厚みは150Åである。この上に、46に示す0.4%の圧縮歪みを入れたundoped InGaAsの井戸を30Å形成する。47はバリア層のundoped InGaAsPであり、歪みは入れていない。続いて、0.4%の圧縮歪みを入れた48のundoped InGaAsの井戸を40Å形成する。この井戸48の上のバリア層は47のバリア層と変わらないundoped InGaAsPを用いており、歪みは入れていない。更に、この上に、49で示す0.4%の圧縮歪みを持ったundoped InGaAsの井戸を50Å積層している。34は上部光ガイド層であるundoped InGaAsP層であり、膜厚は0.2μmとしている。以上が圧縮歪み領域54の構成である。この圧縮歪み活性層54により、TEモードの利得が均一化される波長領域は図6の59に示す様に、約1470nmから1530nmと60nmの広帯域に渡る。

【0059】TEモード利得およびTMモード利得がほぼ均一となっている領域が重なる範囲は、1470nmから1520nmと約50nmとなる。しきい値付近においてTEモード利得およびTMモード利得が均衡した

い場合は、不足している波長付近の井戸層を増加し、利得均衡の改善を図ればよい。また、本実施例では、引っ張り歪み領域 5 3 および圧縮歪み領域 5 4 とともに井戸数は 3 層としているが、井戸数はこれに限るものではない。幅の異なる井戸が存在すれば、つまり 2 層以上から、本発明は適用できる。

【0060】TEモード/TMモードの切り換え方法は第1実施例と同様である。本実施例においては、P型基板を用いた例を示したが、N型基板を用いてもよい。その場合においても、井戸幅はP側の方が狭くなる。

【0061】以上説明した様に、引っ張り歪みの領域および圧縮歪み領域において、利得のほぼ均一な帯域を広くする為、井戸の幅を変え且つ幅の狭い井戸をP側に配置することにより、第1実施例に比較してTMモードおよびTEモードの利得の均衡した波長範囲をより自由に設定し、広帯域においてほぼ均一な利得を持つ半導体レーザなどの光半導体デバイスを実現することができた。

【0062】第3実施例

図7、図8、図9、図3を用いて本発明の第3の実施例を示す。本実施例は、活性層の構成として引っ張り歪み領域と圧縮歪み領域を分離することなく、井戸幅の順にP側からN側に井戸を並べた点と、作り付けで導波路の伝搬定数を制御することによりTEモード/TMモードの切り換えを実現した点が特徴である。

【0063】図7は、レーザの全体構成である。図7

(a)において、61は基板であるところのN-InP膜であり、この上に、67に示す高さ300Åの回折格子を部分的に形成している。続いて、62に示すSi-doped InGaAsP光ガイド層を0.15μm形成している。これまでが活性層以下の構成である。この上に、63に示す活性領域を形成し、続いて、64の光ガイド層を積層する。構成はBe-doped InGaAsPである。組成はバンドギャップ波長1.15μmに合わせており、膜厚は0.2μmである。続いて、65に示す上部クラッド層であるBe-doped InP膜を1.5μm形成した後に、66のコンタクト層であるBe-doped InGaAsを0.4μm形成し、成長を終了する。また、68はN側電極でありAuGe/Auを使用した。69と70と71はP側電極である。電極69の領域はグレーティングのない領域に対応している。72は低反射コートである。

【0064】図7(b)は、この半導体レーザを上面から見た図で、導波路のストライプ幅を示している。電極69、71に対応した領域のレーザストライプ幅D2は1μmと狭く、電極70に対応した領域のストライプ幅D1は3.5μmと広くした。ストライプ構造としてはリッジ導波路型を採用したが、埋め込み等でもよい。ストライプ幅を変えた理由は、初期的に導波路間に伝搬定数差即ち屈折率差を設けておき、安定にTEモード/TMモードスイッチングを実現する為である(即ち、図3

で説明した原理によるTEモード/TMモードスイッチングを実現する為である)。

【0065】図8を用いて、63の活性層の構成について記述する。第1実施例、第2実施例においては、引っ張り歪み領域と圧縮または無歪み活性領域をバリアで分離して積層することを前提としていた。その結果、電流の強弱により利得を変化させることが出来、TEモード/TMモードのスイッチングが実現したのである。第3実施例においては、TMモードとTEモードの利得差は小さく、電流の増減による両モードの利得変化も同程度となる活性層を用いて、TEモード/TMモードのスイッチングを実現する。基本的な考えは、引っ張り歪み領域と圧縮または無歪み領域を分離積層することを前提とせず、単に井戸幅の違いにより積層順を変えている。拡散長が短いキャリアが注入される側に幅の狭い井戸を形成し、順次広くする構成である。

【0066】図8において、86は積層方向を示している。62は下部光ガイド層であり、Si-doped InGaAsPにより構成されている。キャリア濃度は 10^{17} cm^{-3} で、厚みは0.2μmである。この上に積層される井戸を順次述べる。75はundoped InGaAsで幅は120Åであり、引っ張り歪みが1.0%入っている。78はバリア層であり、undoped InGaAsPを100Å積層している。歪み量は0.3%の圧縮歪みである。76は100Å厚のundoped InGaAsで、1.0%の引っ張り歪みが入っている。この後、78と同様のバリアを積層する。77は無歪みのundoped InGaAs井戸で膜厚は85Åである。78はバリア層である。79は1.0%の引っ張り歪み井戸で、組成はundoped InGaAsであり幅は80Åである。80は無歪みundoped InGaAsPバリア層で100Åの膜厚であり、バンドギャップ波長は1.18μmに合わせてある。81は、70Å厚の無歪みundoped InGaAsである。続いて、80はバリア層である。82は、60Å厚の無歪みundoped InGaAsである。80はundoped InGaAsPバリア層であり100Åの膜厚を持つ。83は、50Å厚の無歪みundoped InGaAsである。64はBe-doped InGaAsPの上部光ガイド層で、厚さは0.2μmである。以上が活性層63の構成である。

【0067】拡散距離の短いホール84の側、つまりP型光ガイド層64側に幅の狭い井戸を形成し、電子85の供給されるN側に行くに従い広くしている。この結果、TEモード利得を発生する77の無歪みの井戸が、主にTMモードを発生する76と79の引っ張り歪みの井戸に挟まれる形になっている。幅の狭い井戸を拡散長の短いキャリア84の導電型層側に寄せた理由は、既に述べた通りであるが、更に敷衍すれば次のようになる。

井戸が狭くなるに従い利得は飽和現象を起こしやすくなる。飽和しにくい幅の広い井戸に優先的にキャリアを供給すると、広い井戸の利得が増大し、狭い井戸の利得がこれに追いつくことは不可能である。広範囲の波長領域で利得をほぼ均一にする為には、幅の狭い井戸での利得を優先的に確保しておくことが必要である。よって、拡散長の短いキャリアの導電型層側に狭い井戸を寄せることが必要となる。尚、以上の活性層 6 3 の構成では、主に TM モードの利得を発生する引っ張り歪みの井戸を 3 層、TE モードの利得を発生する無歪み井戸を 4 層とし

【0068】図 9 は、上記の井戸を用いたレーザにおける TE モードおよび TM モードの利得分布である。図 9 の縦軸は利得を示し、横軸は波長を示している。無歪みの井戸を 4 層にし、井戸幅を 50 Å から 85 Å まで変えたことにより、TE モード利得 9 0 の帯域は長波長側に伸び、1550 nm まで広がった。TM モード利得 8 9 に関しては、50 nm 程度の帯域が確保されている。この活性層 6 3 の特徴は、上述したように、電流値を変えても TM モードと TE モードの利得差をほぼ一定にできることである。尚、利得の均一化が図れない場合には、利得が不足している波長帯域の井戸を増やせばよい。その場合でも、活性層の井戸の幅は P 側から N 側に順に広くなっていることが必要である。

【0069】この様な構成を有したレーザの駆動方法について、図 7 と第 1 実施例で用いた図 3 (a)、

(b)、(c) を用いて説明する。第 3 実施例では、図 3 の各部分の状態を実現する時の条件が第 1 実施例とは異なっている。図 3 (a) は、70 および 71 の電極に同じ電流密度を供給した時の発光スペクトルを示す。これら電極 70、71 が形成されている領域は、図 7

(b) に示す様にストライプ幅が異なる。ストライプ幅 D 2 が狭い領域に形成されている電極 71 のスペクトルは 9 1 に示す様になる。ここで、9 3 は TM モードのストップバンドで、9 4 は TE モードのストップバンドである。2 つのストップバンドの波長差は数 nm 程度となる。一方、ストライプ幅 D 1 の広い領域に形成されている 70 の電極に電流を流した場合のスペクトルは 9 2 の様になる。ここで、9 5 は TM モードのストップバンドで、9 6 は TE モードのストップバンドである。このストライプ幅 D 1 の広い領域の TM モードのストップバンド 9 5 と TE モードのストップバンド 9 6 の波長差はスペクトル 9 1 のそれに比べ広がる。ストライプ幅が広がるとクラッド層への光のしみ出しが少なくなり、屈折率は大きくなる（屈折率の大きい活性層 6 3 の部分に光が多く存在するので、光の感じる屈折率が実効的に大きくなる）。この為、ストライプ幅 D 1 の広い領域の方

が各モードの発光スペクトル各部の波長が長く、且つストップバンド間の波長差も大きくなる。

【0070】スイッチング動作について説明する。図 7 (b) に示したレーザ構造において、ストライプ幅 D 1 の広い領域の電流を増やす。すると、図 3 (b) の 9 7 に示す様に、広い領域のスペクトル 9 2 は短波長側にずれる（紙面で左にずれる）、TM モードのストップバンド 9 5 が、ストライプ幅 D 2 の狭い領域のスペクトル 9 1 の TM モードのストップバンド 9 3 と、破線 9 8 で示すように、一致する現象が生ずる。この結果、共振器全体での TM モードの利得が増大し TM モードのレーザ発振がおこる。尚、この時、69 の電極には、電極 70、71 の領域において各モードのストップバンドが一致した際に該モードで発振が生ずるのに必要な電流を供給しておく。

【0071】続いて、TE モード発振について説明する。70 の電極の電流を増加させるか、または 71 の電極の電流を減らすかすることにより、TE モードのストップバンド 9 4 および 9 6 を一致させる。図 3 (c) を用いて説明する。70 の電極の電流を増加させると、この領域のスペクトル 9 2 は 100 に示す様にさらに短波長側にずれる。この結果、スペクトル 9 1 の TE モードのストップバンド 9 4 とスペクトル 9 2 の TE モードのストップバンド 9 6 が破線 101 に示す様に一致し、共振器全体での TE モード利得が増大して TE モードでレーザ発振する。TE モードのストップバンドを一致させる方法としては、71 の電極の電流を減少させることにより、スペクトル 9 1 を長波長側に図 3 (c) の 9 9 に示すようにシフトさせ、TE モードのストップバンド 9 4 および 9 6 を一致させる方法もある。このスイッチングに使用する電流量は数 mA 以下で、TE モード、TM モードをスイッチングできる。基本的には、それぞれの領域の伝搬定数を異ならせ、電流により屈折率を変えることができれば本実施例の実現は可能である。伝搬定数を変える方法としては、上記の如くストライプ幅を変える以外に、活性層を含め光が広がっている領域の厚みを変える方法や、活性層を含め光が広がっている領域の組成を変える方法などが挙げられる。

【0072】尚、本構成においても、ストップバンドを抑制する構成としては、片面低反射コート 72 を用いているが、 $\lambda/4$ シフトを用いて単一モードを実現する構成も容易である。

【0073】本構成では、活性層における TE モード、TM モードの利得差が更に小さく、広帯域において両モードの利得が均衡して安定な為に、更に安定に TE モード、TM モードスイッチングできるレーザが実現できる。

【0074】第 4 実施例

図 10、図 11 を用いて本発明の第 4 の実施例について説明する。図 10 は全体構成を示す。図 10 において、

21

111は基板であるところのN-InP膜であり、この上に、117に示す高さ300Åの回折格子を形成し、続いて、112に示すSi-doped InGaAs P光ガイド層を0.2μm形成している。これまでが活性層以下の構成である。この上に、113に示す活性領域を形成し、続いて、114の光ガイド層を積層する。構成はBe-doped InGaAs Pで、組成はバンドギャップ波長1.15μmに合わせており、膜厚は0.2μmである。続いて、115に示す上部クラッド層であるBe-doped InP膜を1.5μm形成した後に、116のコンタクト層であるBe-doped InGaAsを0.4μm形成し、成長を終了する。図10中の118はN側電極でありAuGe/Auを使用した。119と120はP側電極であり、このレーザの多電極化を行っている。

【0075】図11を用いて活性層113の構成について説明する。第4実施例の特徴は、活性層にP型不純物をドーピングし、N側に近い井戸程、井戸幅が狭い様に作製した点にある。図11中、132に示した矢印は積層方向を示している。112はSiがドーピングされた光ガイド層領域である。活性層113の構成は、134に示した引っ張り歪みの領域と133の圧縮歪みの領域に分かれる。

【0076】TEモード利得を発生する圧縮歪み活性層133の構成について記述する。先ず、121に示す0.8%の圧縮歪みを入れたundoped InGaAs Pを50Å形成する。122はバリア層のBe-doped InGaAs Pであり、歪みは入れていない。続いて、0.8%の圧縮歪みを入れた123のundoped InGaAs Pの井戸を60Å形成する。この上のバリア層は、122と変わらないBe-doped InGaAs Pを用いており、歪みは入れていない。124は0.8%の圧縮歪みを持ったundoped InGaAs Pの井戸であり、70Å積層している。125は、133の圧縮歪み領域と134の引っ張り歪み領域を分離するBe-doped InGaAs Pバリア層である。膜厚は200Åとしている。以上が133に示す圧縮歪み領域の構成である。この圧縮歪み活性層133によりTEモード利得が均一化される波長領域は図13の146に示す様に、約1480nmから1540nmと60nmの広帯域に渡る。ここで、図13の縦軸は利得を示し、横軸は波長を示している。

【0077】続いて、134の引っ張り歪み領域の構成について説明する。125のバリア層上に、まず、126に示すundoped InGaAsによる井戸を80Å成長している。この井戸126は引っ張り歪みを入れており、歪み量は1.0%である。続いて、127に示したバリア層を形成する。この層127はBe-doped InGaAs Pにより構成されており、膜厚は100Åである。歪み量は圧縮歪みを0.2%を加え

22

ている。この上に、128に示す井戸を積層する。undoped InGaAsにより構成されており、膜厚は100Åである。引っ張り歪み量は1.0%である。続いて、バリア層を100Å形成している。構成は127に示したものと同一である。この上に、129に示すundoped InGaAsの井戸を120Å形成する。引っ張り歪み量は1.0%である。以上が134に示した引っ張り歪み領域の構成である。126、128、129に示した井戸の幅を変化させることにより、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する。よって、それぞれの井戸126、128、129による利得（主にTMモード）が重なり合い、広帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。ここで用いた井戸126、128、129により、図13の145に示すように、TMモードは1470nmから1540nmに渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。

【0078】図11において、活性層113のバリアにP型ドーピングした理由は、しきい電流密度を下げることにある。また、P型をドーピングすることにより、より拡散のし易い電子130を利用して活性層の利得の均一化を図ることを目的としている。この結果、低電流領域での発振と、電子の拡散がし易い為に、低電流領域でのスイッチングが可能となった。

【0079】図11の圧縮歪み領域133において井戸幅の狭い井戸をN導電型層寄りに配置した理由は、これまで述べてきたように、幅の狭い井戸に少数キャリア（この場合はP型をドーピングした活性層を用いているのでホール131ではなく電子130である）を優先的に供給することにより、広波長帯域での利得の均一化を図るものである。仮に、しきい値付近においてTEモード利得およびTMモード利得が均衡しない場合は、不足している波長付近の井戸層を増加し、利得均衡の改善を図ればよい。また、ここではP型のドーピングをバリア層のみに行ったが、井戸に行ってもよい。また、図11において、134の引っ張り歪み領域にはBeをドーピングせず、133の圧縮歪み領域のみにドーピングして、TEモード利得の立ち上がりを改善し、低電流領域でのスイッチングを実現してもよい。

【0080】図10の第4実施例の動作は第1実施例と同様である。また、本実施例においては、活性層113より下にグレーティング117が存在したが、グレーティングは活性層の上にあってもよい。このことは他の実施例でも同様である。

【0081】以上説明した様に、第4実施例においては、引っ張り歪み領域および圧縮歪み領域において利得均一帯域を広くする為に、井戸の幅を変え、P型をドーピングした活性層を用いることにより、TMモードおよびTEモードの利得のほぼ均一な範囲をより自由に設定し、広帯域においてほぼ均一な利得を持つ半導体レーザなどの光半導体デバイスを実現することが出来た。

【0082】図12は、上記活性層を共通活性層としてアレーレーザ140に適用した場合の例について説明する。141は各レーザのストライプで、複数のレーザが図12の横方向に並んだアレーレーザの周期142は600 μ mである。ここで各レーザのグレーティングピッチを変えており、各レーザの発振波長間隔は1nmとしている。アレーレーザ140は、図13の147に示すように8波の異なる波長で発振する様に構成した。本発明の最も有用な用途の1つがこのアレーレーザである。TEモード、TMモードの利得がほぼ均一で均衡した領域が広帯域に形成できることにより、同一の活性層により、プロセス工程を少なく多波長アレーレーザが容易に作製可能であることがわかった。勿論、他の実施例もアレーレーザに適用できる。

【0083】発振波長を変える方法としては、各レーザのグレーティングピッチを変える方法以外に、各レーザの導波路幅を変えたり、活性層などの厚み、活性層付近の組成を変え各レーザの伝搬定数を変化させる方法等がある。

【0084】第5実施例

本実施例は、活性層内のバリアの高さ（バリア層の量子準位とキャリア供給側に隣接する井戸層の量子準位の差であり、これが大きくなる程キャリアがバリアを越えにくくなる）を変えることにより供給されるキャリアを制御し、各波長の利得を均一化したものである。図14を用いて本実施例の活性層の構成について説明する。図14は活性層付近のみを拡大した構成のバンドギャップ構造を示す。その他の部分の構成は図4と同じである。図14中、202に示した矢印は積層方向を示している。201はBeがドーピングされた光ガイド層領域で、図4中では光ガイド層領域32に相当する。活性層の構成は、215に示した引っ張り歪みの領域と216の圧縮歪みの領域に分かれる。

【0085】引っ張り歪み領域215の構成について説明する。201に示した光ガイド層上に、まず、203に示すundoped InGaAsによる井戸を80Å成長している。ここの井戸203は引っ張り歪みを入れており、歪み量は0.8%である。続いて、204に示したバリア層を形成する。この層204はundoped InGaAsPにより構成されており、膜厚は100Åであり、バンドギャップ波長が1.20 μ mに一致する様に設定している。尚、歪み量は圧縮歪みを0.2%加えている。この上に、205に示す井戸を積層する。undoped InGaAsにより構成されており、膜厚は100Åである。引っ張り歪み量は0.8%である。続いて、バリア層206を100Å形成している。構成は、バリア層204よりバンドギャップを広くしており、バンドギャップ波長が1.15 μ mに一致する様にしている。厚みは100Åである。この上に、207に示すundoped InGaAsの井戸を12

0Å形成する。引っ張り歪み量は0.8%である。以上が215に示した引っ張り歪み領域の構成である。204、206のバリアのバンドギャップ即ちバリア高さをキャリアの供給しにくいP側を低くすることにより、より効率良くキャリア218を均一に活性層に供給できる。よって、それぞれの井戸203、205、207による利得が都合よく重なり合い、広帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。

【0086】続いて、TEモードを発生する圧縮歪み活性層216の構成について記述する。207に示した引っ張り歪み井戸の上に、208に示した引っ張り歪み活性領域215と圧縮歪み活性領域216を分離するバリアを形成する。組成はundoped InGaAsPであり、厚みは150Åである。バンドギャップ波長を1.15 μ mに設定している。この上に、209に示す0.4%の圧縮歪みを入れたundoped InGaAsを40Å形成する。210はバリア層のundoped InGaAsPであり、歪みは入れていない。バンドギャップ波長は1.2 μ mに設定している。続いて、0.4%の圧縮歪みを入れた211のundoped InGaAs井戸を50Å形成する。この井戸211の上のバリア層212はundoped InGaAsPを用いており、歪みは入れていない。バンドギャップ波長は1.15 μ mに設定している。213は0.4%の圧縮歪みを持ったundoped InGaAs井戸層であり、60Å積層している。214は上部光ガイド層のundoped InGaAsP層である。バンドギャップ波長は1.15 μ mに設定している。膜厚は0.2 μ mとしている。以上が216に示す圧縮歪み領域の構成である。

【0087】以上に示した様に、活性層内のバリア高さを制御し、供給されにくいキャリア、ここではホール218の側を低くすることにより、ホールがバリアを越え易くし均一に活性層に広がる様に出来た。尚、本実施例においてバリアの高さを、引っ張り歪み領域215と圧縮歪み領域216とで、各々独立に制御しているが、特にこれには限定されず、P側からN側に連続的に変えてもよい。

【0088】また、本構成においては、ホール218が動きにくいキャリアとなっている。しかし、たとえば、第4実施例に示した様に、バリアまたは井戸層にP型のドーピングを施すことにより電子217を制御することも可能である。この時は、N側に近いバリア程、高さを低くして、各井戸に電子217が供給され易くする。

【0089】第6実施例

第5実施例ではバリアの高さを制御することにより、動きにくいキャリアの供給を改善した。本実施例では、活性層内のバリアの厚さを変えることにより、供給されるキャリアを制御し、各波長の利得を均一化したものである。図15を用いて活性層の構成について説明する。

【0090】図15中、222に示した矢印は積層方向を示している。221はBeがドーピングされた光ガイド層領域で、図4中では光ガイド層領域32に相当する。活性層の構成は、237に示した引っ張り歪みの領域と238の圧縮歪みの領域に分かれる。まず、237の引っ張り歪み領域の構成について説明する。221に示した光ガイド層上に、まず、223に示すundoped InGaAsによる井戸を80Å成長している。この井戸223は引っ張り歪みを入れており、歪み量は1.1%である。続いて、224に示したバリア層を形成する。この層224はundoped InGaAsPにより構成されており、膜厚は60Åである。歪み量は圧縮歪みを0.2%を加えている。この上に、225に示す井戸を積層する。undoped InGaAsにより構成されており、膜厚は100Åである。引っ張り歪み量は1.1%である。続いて、バリア層226を80Å形成している。組成は224に示したものと同一である。この上に、227に示すundoped InGaAsの井戸を120Å形成する。引っ張り歪み量は1.1%である。以上が237に示した引っ張り歪み領域の構成である。223、225、227に示した井戸の幅を変化させることにより、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する。よって、それぞれの井戸223、225、227による利得が重なり合い、広波長帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。これに加えて、本構成では、224、226のバリア幅を変えることにより、動きにくいキャリア236の供給を改善している。

【0091】図15の引っ張り歪み領域237においてバリアの幅をP導電型層寄りである程薄くした理由は、第1実施例において述べた様に、P型のホールキャリア236の拡散距離がN型の電子235に比べ比較的短いのに対して、N側の電子は図15の235に示す様に活性層全体に供給されるので、初期的にはP側に近い井戸の方が利得が得やすい。この結果、P導電型層から離れて形成されると利得が発生しにくくなると考えられる。よって、P導電型層から比較的離れた井戸へのホールキャリアの供給を補う為にP側のバリア幅を薄く形成しているのである。この結果、引っ張り歪み領域237での各井戸223、225、227の利得を調整することができ、広帯域でほぼ均一の利得を得ることができた。

【0092】続いて、TEモードを発生する圧縮歪み活性層238の構成について記述する。227に示した引っ張り歪み井戸の上に、228に示した引っ張り歪み活性領域237と圧縮歪み活性領域238を分離するバリアを形成する。組成はundoped InGaAsPであり、厚みは100Åである。この上に、229に示す0.8%の圧縮歪みを入れたundoped InGaAsPを50Å形成する。230はバリア層のundoped InGaAsPであり、歪みは入れていない。厚み

は60Åである。続いて、0.8%の圧縮歪みを入れた231のundoped InGaAsP井戸を60Å形成する。バリア層232の組成は232と変わらないundoped InGaAsPを用いており、厚みが80Åとなっている。233は0.8%の圧縮歪みを持ったundoped InGaAsP井戸であり、70Å積層している。234は上部光ガイド層であるundoped InGaAsP層である。膜厚は0.2μmとしている。以上が238に示す圧縮歪み領域の構成である。

【0093】以上示した様に、活性層内のバリア幅を制御し、供給されにくいキャリア、ここではホール236の側を薄くすることにより、ホールがバリアを越え易くし、均一に活性層に広がる様に出来た。尚、本実施例においてバリアの幅を、引っ張り歪み領域237と圧縮歪み領域238とで、各々独立に制御しているが、特にこれには限定されず、P側からN側に連続的に変えてもよい。また、本構成においてはホールが動きにくいキャリアとなっているが、たとえば、第4実施例に示した様に、バリアまたは井戸層にP型のドーピングを施すことにより電子を制御することも可能である。この時は、N側に近いバリア程、幅が狭く、各井戸に電子が供給され易くする。

【0094】ところで、上記各実施例では主に偏波変調レーザとして説明したが、本発明の光半導体デバイスをしきい値付近までバイアスした状態で光を入射させ、偏波依存性の小さい光増幅器として使用することもできる。また、主にDFBレーザとして説明したが、これについても、DFBレーザに限らず分布反射型(DBR)レーザなどにも適用できる。このことは以下の実施例でも同様である。

【0095】第7実施例

第7の実施例の偏波変調レーザの共振器方向の全体構成断面は図1(a)に示すものと同じである。本実施例では、複数の井戸の歪み量を変えて井戸のバンドギャップを変化させ、利得のほぼ均一な波長領域を広げている。

【0096】バンドギャップ構造図である図16を用いて、活性領域の構成について説明する。図16中、321に示した矢印は積層方向を示している。322はBeがドーピングされた光ガイド層領域であり、図1(a)中では光ガイド層2に相当する。活性層3の構成は、323に示した引っ張り歪みの領域と324の無歪みの領域に分かれる。まず、引っ張り歪みの領域323の構成について説明する。光ガイド層322上に、まず、311に示すノンドープInGaAsによる井戸を120Å成長している。この井戸311は引っ張り歪みを入れており、歪み量は1.2%である。続いて、314に示したバリア層を形成する。このバリア層314はノンドープInGaAsPにより構成されており、膜厚は100Åである。歪み量は圧縮歪みを0.2%を加えていて、歪み補償効果で井戸層の結晶性などを良くしている。

【0097】この上に、312に示す井戸を積層する。ノンドープInGaAsにより構成されており、膜厚は120Åである。引っ張り歪み量は0.9%である。続いて、バリア層を100Å形成している。構成はバリア層314で示したものと同一である。この上に、313に示すノンドープInGaAsの井戸を120Å形成する。引っ張り歪み量は0.6%である。以上が323に示した引っ張り歪み領域の構成である。311、312、313に示した井戸の引っ張り歪み量を変化させること(1.2%、0.9%、0.6%)により、各井戸のバンドギャップが異なり、発光波長が変化する。よって、それぞれの井戸311、312、313による利得が都合よく連続的に重なり合い、広帯域にてほぼ均一な利得(TEモード利得も得られるが、主にTMモード利得である)を得ることが可能となる。

【0098】図17は、利得分布を示したものである。図17の縦軸は利得を示し、横軸は波長を示している。ここで用いた井戸により、図17の328に示すように、TMモードは1500nmから1550nmに渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。

【0099】図16の引っ張り歪み領域323において歪みの大きな井戸をP導電型層寄りに配置した理由は、第1実施例の所で述べた理由とほぼ同じであり、以下の通りである。P型のホールキャリアの拡散距離がN型の電子に比べ比較的短く、N側の電子は図16の318に示す様に活性層全体に供給されるのに対して、ホール319の拡散長は短く、初期的にはP側にある井戸の方が利得を得やすい。一方、引っ張り歪みにおいて歪み量が大きいと井戸材料のバンドギャップが増加し、基底準位が上がってくる。その結果、隣接するバリア層と量子準位の障壁差が取りにくくなり、キャリアの閉じ込めが悪くなる。よって、歪みの大きな井戸(つまり、バンドギャップの大きな井戸)がP導電型層から離れて形成されると均一に利得を得ることが困難となる。こうして、引っ張り歪みにおいては、キャリアの閉じ込めの低下を補う為に歪みの大きな井戸ほどP側に形成しているのである。この結果、図17にも示した様に、引っ張り歪み領域323での各井戸311、312、313の利得を調整することができ、広帯域でほぼ均一の利得を得ることができた。この構成においても利得の均一化が図れない場合は、利得が小さい波長帯域の井戸を増やすなどの対応をすればよい。この場合においても、引っ張り歪み領域323において、歪みの大きな井戸がP側に配置されていることが必要である。

【0100】ここで、311、312、313の井戸に用いた引っ張り歪みは、既に述べた様に、TMモードだけでなくTEモードの利得も発生する。引っ張り歪み量1.0%の井戸では、引っ張り歪み井戸から発生するTEモードの利得ピークはTMモードの利得ピークよりも短波長側になり、しきい値付近の電流注入状態で約20

nmの差となっている。

【0101】続いて、TEモードを発生する無歪み活性層の構成について記述する。まず、引っ張り歪み井戸313の上に、引っ張り歪み活性領域323と無歪み活性領域324を分離するバリア317を形成する。組成はノンドープInGaAsPであり、厚みは150Åである。この上に、315に示す無歪みのノンドープInGaAsを6nm形成する。続いて、316で示すバリア層であるノンドープInGaAsPを形成する。これには歪みは入れていなくて、厚さは100Åである。井戸315は同一のものを3層積層し、バリア層316は同一のものを2層積層した。以上が324に示す無歪み領域の構成である。

【0102】この無歪み活性層の発光波長は1500nmを中心として、利得のほぼ均一な幅は約20nm程度となる。本実施例において、TEモードの利得は、この無歪み活性領域324により発生する利得と、引っ張り歪み領域323により発生するTEモード利得とにより形成される。よって、無歪み井戸により発生する利得よりも広くなり、図17の327に示す様に、TEモードは、約1500nmから1550nmと50nmの波長帯域においてほぼ均一な利得を得ることができた。

【0103】この様な構成を有した第7実施例のレーザの駆動方法は第1実施例で説明した通りである。以上説明した様に、引っ張り歪みの領域において、利得のほぼ均一な帯域を広くする為に井戸の歪み量を変え、且つ歪みの大きな井戸をP側に配置することにより、利得が広帯域においてほぼ均一な半導体レーザなどの光半導体デバイスを実現することができた。

【0104】尚、活性層の歪み量を異ならせる井戸は引っ張り歪みに限ったことではなく、圧縮歪み井戸でもよく、これでも利得のほぼ均一な帯域の改善が可能である。また、歪みの大きな井戸をP側に形成する条件としては、ホールが拡散しにくい、活性層中の井戸またはバリアがノンドープかN型ドープであることが必要である。

【0105】第8実施例

図18を用いて本発明の第8の実施例について説明する。共振器方向の断面の全体構成は図4と同じである。

【0106】図18を用いて活性層33の構成について説明する。この実施例の特徴は、歪み量の変化による利得確保の波長帯域の拡大の実現を、引っ張り歪み領域のみでなく、圧縮歪み領域に拡大して行なっている点にある。バンドギャップ構造図である図18中、352に示した矢印は積層方向を示している。32はBeがドーピングされた光ガイド層領域である。活性層33の構成は、353に示した引っ張り歪みの領域と354の圧縮歪みの領域に分かれる。

【0107】まず、353の引っ張り歪み領域の構成について説明する。光ガイド層32上に、341に示すノ

ンドープ InGaAs による井戸を 130 \AA 成長している。この井戸 341 は引っ張り歪みを入れており、歪み量は 1.1% である。続いて、344 に示したバリア層を形成する。この層 344 はノンドープ InGaAsP により構成されており、膜厚は 80 \AA である。歪み量は圧縮歪みを 0.2% を加えている。この上に、342 に示す井戸を積層する。この井戸層 342 はノンドープ InGaAs により構成されており、膜厚は 130 \AA であり、引っ張り歪み量は 0.9% である。続いて、バリア層を 80 \AA 形成している。構成は 344 に示したバリア層と同じである。この上に、343 に示すノンドープ InGaAs の井戸を 130 \AA 形成する。引っ張り歪み量は 0.7% である。以上が 353 に示した引っ張り歪み領域の構成である。341、342、343 に示した井戸の歪み量を変化させることにより、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する。よって、それぞれの井戸による利得が補って重なり合い、広帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。ここで用いた井戸により、TM モードは 1500 nm から 1560 nm に渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。

【0108】図 18 の引っ張り歪み領域 353 において歪み量の大きな井戸を P 導電型層寄りに配置した理由は、第 7 実施例において述べた理由と同じである。

【0109】続いて、TE モードを発生する圧縮歪み活性層 354 の構成について記述する。343 に示した引っ張り歪み井戸の上に、345 に示した引っ張り歪み活性領域 353 と圧縮歪み活性領域 354 を分離するバリアを形成する。組成はノンドープ InGaAsP であり、厚みは 100 \AA である。この上に、346 に示す 0.6% の圧縮歪みを入れたノンドープ InGaAsP の井戸を 5 nm 形成する。347 はバリア層のノンドープ InGaAsP であり、歪みは入れていない。続いて、 0.8% の圧縮歪みを入れた 348 のノンドープ InGaAsP の井戸を 5 nm 形成する。この井戸 348 の上のバリア層は 347 のバリア層と変わらないノンドープ InGaAsP を用いており、歪みは入れていない。更に、この上に、349 で示す 1.1% の圧縮歪みを持ったノンドープ InGaAs の井戸を 5 nm 積層している。34 は上部光ガイド層であるノンドープ InGaAsP 層であり、膜厚は $0.2\text{ }\mu\text{m}$ としている。以上が 354 に示す圧縮歪み領域の構成である。圧縮歪み活性層 354 においては、井戸幅が一定の場合に歪み量が増加すると、 In が増加することになるため、井戸に使用されている InGaAsP のバンドギャップは長波長化する。つまりバンドギャップが狭くなる。この構成では、346 の井戸が最もバンドギャップが広く、歪みが大きくなるに従い 348、349 とバンドギャップは狭くなる。この結果、圧縮歪み活性層 354 においても、広範囲に利得を均一化することが可能となる。この圧縮歪み領域 354 の構成により、TE モード利得が均一化

される波長領域は、約 1480 nm から 1550 nm と 70 nm の広帯域に渡る。

【0110】本実施例において、TE モードおよび TM モード利得がほぼ均一となっている領域が重なる範囲は、 1500 nm から 1550 nm と約 50 nm となる。ただし、広範囲に利得を持つ井戸があっても、しきい値付近において TE モード利得および TM モード利得が均衡しない場合が生ずる。この場合は、不足している波長付近の井戸層を増加し、利得均衡の改善を図ればよい。また、本実施例では、引っ張り歪み領域 353 および圧縮歪み領域 354 とともに井戸数は 3 層としているが、井戸数はこれに限るものではない。

【0111】尚、本実施例において、引っ張り歪み領域 353 が少数キャリアが供給されてくる P 側に近く形成されているが、必ずしもこれが必然ではない。圧縮歪み領域 354 が少数キャリア供給側に形成されていてもよい。本実施例の本質は、各歪み領域（引っ張り歪み、圧縮歪み領域 353、354）において、少数キャリアの供給される側にバンドギャップの広い井戸を設けることである。

【0112】TE モード / TM モードの切り換え方法は第 7 実施例と同様である。本実施例においては、P 型基板を用いた例を示したが、N 型基板を用いてもよい。その場合においても、少数キャリアの供給される側にバンドギャップの広い井戸を設ける。

【0113】以上説明した様に、引っ張り歪みの領域および圧縮歪み領域において、利得の均衡した帯域を広くする為に井戸の歪み量を変え且つバンドギャップの広い井戸を P 側に配置することにより、第 7 実施例に比較して TM モードおよび TE モードの利得均衡波長範囲をより自由に設定し、広帯域においてほぼ均一な利得を持つ半導体レーザなどの光半導体デバイスを実現することが出来た。

【0114】第 9 実施例

図 19、図 20 を用いて本発明の第 9 の実施例を示す。本実施例は、活性層の構成として引っ張り歪み領域と圧縮歪み領域を分離することなく、バンドギャップの広い順に P 側から N 側に井戸を並べた点と、作りつけた導波路の伝搬定数を制御し位相制御により TE モード / TM モードの切り換えを実現したことが特徴である。

【0115】レーザの全体構成は図 7 に示した通りである。本実施例では、電極 69、71 に対応した領域のレーザストライプ幅 D2 は $1.5\text{ }\mu\text{m}$ と狭く、電極 70 に対応した領域のストライプ幅 D1 は $3.0\text{ }\mu\text{m}$ と広くした。

【0116】図 19 を用いて、63 の活性層の構成について記述する。第 7、第 8 実施例においては、引っ張り歪み領域と圧縮または無歪み活性領域を分離して積層することを前提としていた。その結果、電流の強弱により利得を変化させることが出来、TE モード / TM モード

のスイッチングが実現されたのである。本実施例においては、TMモードとTEモードの利得差は小さく、電流の増減による両モードの利得変化も同程度となる活性層を用いてTEモード/TMモードのスイッチングを実現する。基本的な考えは、引っ張り歪み領域と圧縮または無歪み領域を分離積層することを前提とせず、単に井戸層のバンドギャップの違いにより積層順を変えている。拡散長が短いキャリアが注入される側にバンドギャップの広い井戸を形成し、順次狭くする構成である。

【0117】図19において、386は積層方向を示している。62は下部光ガイド層であり、SiドープInGaAsPにより構成されている。キャリア濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ で、厚さは $0.2 \mu\text{m}$ である。この上に積層される井戸を順次述べる。375はノンドープInGaAsの井戸で幅は 40 \AA であり、圧縮歪みが0.8%入っている。378はバリア層であり、ノンドープInGaAsPを 100 \AA 積層している。歪み量は0.0%（無歪み）である。376は 110 \AA 厚のノンドープInGaAsの井戸で、0.4%の引っ張り歪みが入っている。この後、バリア層378と同様のバリアを積層する。377は圧縮歪みのノンドープInGaAs井戸で、膜厚は 40 \AA であり歪み量は0.6%である。378はバリア層である。379は、波長帯域中央の利得を稼ぐことを目的に圧縮歪み井戸377と同様の構成にしている井戸層である。380は無歪みノンドープInGaAsPバリア層で 100 \AA の膜厚であり、バンドギャップ波長は $1.18 \mu\text{m}$ に合わせてある。381は、 110 \AA 厚の引っ張り歪みのノンドープInGaAs井戸であり、歪み量は1.0%である。続いて、380はバリア層である。382は、 40 \AA 厚の圧縮歪みノンドープInGaAs井戸であり、歪み量は0.5%である。380はノンドープInGaAsPバリア層で 100 \AA の膜厚である。383は、 110 \AA 厚の引っ張り歪みのノンドープInGaAs井戸であり、歪み量は1.2%である。64はBeドープInGaAsPの上部光ガイド層で、厚さは $0.2 \mu\text{m}$ である。以上が活性層63の構成である。

【0118】拡散距離の短いホール384の側、つまりP型光ガイド層64側にバンドギャップの広い井戸を形成し、電子385の供給されるN側に行くに従い狭くしている。この結果、TEモード利得とTMモード利得をほぼ均一に得ることができる。バンドギャップが広い井戸を拡散長の短いキャリア384の導電型層側に寄せた理由は、既に述べた通りであるが、更に敷衍すれば次のようになる。バンドギャップ（価電子帯のホールの量子準位と導電帯の電子の量子準位間のギャップ）が広がるに従い利得は飽和現象を起こしやすくなる。飽和しにくいバンドギャップの狭い井戸に優先的にキャリアを供給すると、バンドギャップの狭い井戸の利得が増大し、広い井戸の利得がこれに追い付くことは不可能である。広

範囲の波長領域で利得をほぼ均一にする為には、バンドギャップの広い井戸での利得を優先的に確保しておくことが必要である。よって、拡散長の短いキャリアの導電型層の側にバンドギャップの広い井戸を寄せることが必要となる。尚、以上の活性層63の構成では、主にTMモードの利得を発生する引っ張り歪みの井戸を3層、TEモードの利得を発生する圧縮歪み井戸を4層としている。本実施例においても、活性層の井戸数は基本的に制限されることはない。ただし、他の実施例でも同じであるが、臨界膜厚等において物理的な限界は存在する。

【0119】図20は、上記の井戸を用いたレーザにおけるTEモードおよびTMモードの利得分布である。圧縮歪みの井戸を4層にし、井戸の歪み量を0.8%から0.5%まで変えたことにより、TEモード利得390の帯域は長波長側に伸び、 1500 nm から 1550 nm まで広がった。TMモード利得389に関しては、 50 nm 程度の帯域が確保されている。この活性層63の特徴は、上述した様に、電流値を変えてもTMモードとTEモードの利得差をほぼ一定にできることである。本実施例でも、利得の均一化が図れない場合には、利得が不足している波長帯域の井戸を増やせばよい。その場合でも、活性層の井戸のバンドギャップはP側からN側に狭くなっていることが必要である。

【0120】このような構成を有したレーザの駆動方法は第3実施例のものと同一である。本構成では、活性層におけるTEモード、TMモードの利得差が小さく、広帯域において安定な為に、安定的にTEモードとTMモードの間でスイッチングできるレーザ等が実現できる。

【0121】第10実施例

図21を用いて本発明の第10の実施例について説明する。全体構成は図10に示すものと同じである。

【0122】図21を用いて活性層113の構成について説明する。この実施例の特徴は、活性層にP型不純物をドーピングし、N側に近い井戸程、バンドギャップを広く設定した点にある。図21中、432に示した矢印は積層方向を示している。112はSiがドーピングされた光ガイド層領域である。活性層113の構成は、434に示した引っ張り歪みの領域と433の圧縮歪みの領域に分かれる。

【0123】TEモード利得を発生する圧縮歪み活性層433の構成について記述する。まず、421に示す0.8%の圧縮歪みを入れたノンドープInGaAsPを 4 nm 形成する。422はバリア層のBeドープInGaAsPであり、歪みは入れていない。厚みは 100 \AA である。続いて、1.0%の圧縮歪みを入れた423のノンドープInGaAsPの井戸を 4 nm 形成する。この上のバリア層は、422と変わらないBeドープInGaAsPを用いており、歪みは入れていない。424は1.2%の圧縮歪みを持ったノンドープInGaAsPの井戸であり、 4 nm 積層している。425は、4

3 3 の圧縮歪み領域と 4 3 4 の引っ張り歪み領域を分離する Be ドープ InGaAsP バリア層である。膜厚は 100 Å としている。以上が 4 3 3 に示す圧縮歪み領域の構成である。この圧縮歪み活性層 4 3 3 により TE モード利得が均一化される波長領域は図 2 2 の 4 4 6 に示す様に、約 1460 nm から 1540 nm と 80 nm の広帯域に渡る。

【0124】続いて、4 3 4 の引っ張り歪み領域の構成について説明する。4 2 5 のバリア層上に、まず、4 2 6 に示すノンドープ InGaAs による井戸を 130 Å 成長している。この井戸 4 2 6 は引っ張り歪みを入れており、歪み量は 1.0 % である。続いて、4 2 7 に示したバリア層を形成する。この層 4 2 7 は Be ドープ InGaAsP により構成されており、膜厚は 100 Å である。歪み量は圧縮歪みを 0.2 % 加えている。この上に、4 2 8 に示す井戸を積層する。井戸 4 2 8 はノンドープ InGaAs により構成されており、膜厚は 130 Å である。引っ張り歪み量は 0.8 % である。続いて、バリア層を 100 Å 形成している。構成は 4 2 7 に示したものと同じである。この上に、4 2 9 に示すノンドープ InGaAs の井戸を 130 Å 形成する。引っ張り歪み量は 0.6 % である。以上が 4 3 4 に示した引っ張り歪み領域の構成である。4 2 6、4 2 8、4 2 9 に示した井戸の歪み量を変化させることにより、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する。よって、それぞれの井戸による利得（主に TM モード）が重なり合い、広帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。ここで用いた井戸 4 2 6、4 2 8、4 2 9 により、図 2 2 の 4 4 5 に示すように、TM モードは 1470 nm から 1550 nm に渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。

【0125】図 2 1 において、活性層のバリアに P 型ドーピングした理由は、しきい電流密度を下げることにある。また、P 型をドーピングすることにより、より拡散のし易い電子 4 3 0 を利用して活性層の利得の均一化を図ることを目的としている。この結果、低電流領域での発振と、電子の拡散がし易い為に、低電流領域でのスイッチングが可能となった。

【0126】図 2 1 の圧縮歪み領域 4 3 3 においてバンドギャップの広い（歪み量の小さな）井戸を N 導電型層寄りに配置した理由は、これまで述べてきたように、バンドギャップの広い井戸に少数キャリア（この場合は P 型をドーピングした活性層を用いているのでホール 4 3 1 ではなく電子 4 3 0 である）を優先的に供給することにより、広帯域での利得の均一化を図るものである。仮に、しきい値付近において TE モード利得および TM モード利得が均衡しない場合は、不足している波長付近の井戸層を増加し、利得均衡の改善を図ればよい。また、ここでは P 型のドーピングをバリア層のみに行なったが、井戸に行なってもよい。また、図 2 1 において、4

3 4 の引っ張り歪み領域には Be をドーピングせず、4 3 3 の圧縮歪み領域のみにドーピングして、TE モード利得の立ち上がりを改善し、低電流領域でのスイッチングを実現してもよい。

【0127】図 2 1 の実施例の動作は第 4 実施例と同様である。以上説明した様に、引っ張り歪みの領域および圧縮歪み領域において利得均一帯域を広くする為、井戸のバンドギャップ（歪み量）を変え、P 型をドーピングした活性層を用いることにより、TM モードおよび TE モードの利得のほぼ均一な範囲をより自由に設定し、広帯域においてほぼ均一な利得を持つ半導体レーザなどの光半導体デバイスを実現することが出来た。

【0128】以上の構成でも、図 1 2 に示す様に、上記活性層を共通活性層としてアレーレーザを構築できる。アレーレーザは、図 2 2 の 4 4 7 に示すように 8 波の異なる波長（TM モード）で発振する様に構成した。

【0129】第 1 1 実施例

本実施例では、活性層の歪みの制御によるバンドギャップの制御に加え活性層内のバリアの高さを変えることにより供給されるキャリアを制御し、各波長の利得を均一化したものである。図 2 3 を用いて本実施例の活性層の構成について説明する。図 2 3 は活性層付近のみを拡大した構成のバンドギャップ構造を示す。その他の部分の構成は図 4 と同じである。

【0130】図 2 3 中、5 0 2 に示した矢印は積層方向を示している。5 0 1 は Be がドーピングされた光ガイド層領域で、図 4 中では 3 2 に相当する。活性層の構成は、5 1 5 に示した引っ張り歪みの領域と 5 1 6 の圧縮歪みの領域に分かれる。

【0131】引っ張り歪み領域 5 1 5 の構成について説明する。5 0 1 に示した光ガイド層上に、まず、5 0 3 に示すノンドープ InGaAs による井戸を 135 Å 成長している。この井戸 5 0 3 は引っ張り歪みを入れており、引っ張り歪み量は 1.1 % である。続いて、5 0 4 に示したバリア層を形成する。この層 5 0 4 はノンドープ InGaAsP により構成されており、膜厚は 100 Å であり、バンドギャップ波長は 1.20 μm に一致する様に設定している。尚、歪み量は圧縮歪みを 0.2 % を加えている。この上に、5 0 5 に示す井戸を積層する。ノンドープ InGaAs により構成されており、膜厚は 135 Å である。引っ張り歪み量は 0.8 % である。続いて、バリア層 5 0 6 を 100 Å 形成している。構成は、バリア層 5 0 4 よりバンドギャップを広くしており、バンドギャップ波長は 1.15 μm に一致する様にしている。厚みは 100 Å である。この上に、5 0 7 に示すノンドープ InGaAs の井戸を 135 Å 形成する。引っ張り歪み量は 0.65 % である。以上が 5 1 5 に示した引っ張り歪み領域の構成である。5 0 4、5 0 6 のバリアのバンドギャップ即ちバリア高さをキャリアの供給しにくい P 側を低くすることにより、より効率良

くキャリア 518 を均一に活性層に供給できる。よって、それぞれの井戸 503、505、507 による利得が都合よく重なり合い、広帯域にてほぼ均一な利得（主に TM モード）を得ることが可能となる。

【0132】続いて、TE モード利得を発生する圧縮歪み活性層 516 の構成について記述する。507 に示した引っ張り歪み井戸の上に、508 に示した引っ張り歪み活性領域 515 と圧縮歪み活性領域 516 を分離するバリアを形成する。組成はノンドープ InGaAsP であり、厚みは 100 Å である。バンドギャップ波長は 1.15 μm に設定している。この上に、509 に示す 0.8% の圧縮歪みを入れたノンドープ InGaAsP の井戸を 4 nm 形成する。510 はバリア層のノンドープ InGaAsP であり、歪みは入れていない。バンドギャップ波長は 1.2 μm に対応する様に設定している。続いて、1.0% の圧縮歪みをいれた 511 のノンドープ InGaAsP の井戸を 4 nm 形成する。この井戸 511 の上のバリア層 512 はノンドープ InGaAsP を用いており、歪みは入れていない。バンドギャップ波長は 1.15 μm に対応する様に設定している。513 は 1.2% の圧縮歪みを持ったノンドープ InGaAsP 井戸であり、4 nm 積層している。514 は上部光ガイド層のノンドープ InGaAsP 層である。バンドギャップ波長は 1.15 μm に設定している。膜厚は 0.2 μm としている。以上が 516 に示す圧縮歪み領域の構成である。

【0133】以上に示した様に、活性層内のバリア高さを制御し、供給されにくいキャリア、ここではホール 518 の側を低くすることにより、ホールがバリアを越え易くし均一に活性層に広がる様に出来た。尚、本実施例においてバリアの高さを、引っ張り歪み領域 515 と圧縮歪み領域 516 とで、各々独立に制御しているが、特にこれには限定されず、P 側から N 側に連続的に変えてもよい。例えば、508 に示したバリアの高さを下げてもよい。この様な構成を有したレーザの駆動方法は第 5 の実施例のものと同じである。

【0134】また、本構成においては、ホール 518 が動きにくいキャリアとなっているが、バリアまたは活性層に P 型のドーピングを施すことにより電子 517 を制御することも可能である。この時は、N 側に近いバリア程、高さを低くして、各井戸に電子 517 が供給され易くする。

【0135】第 12 実施例

第 11 実施例ではバリアの高さを制御することにより、動きにくいキャリアの供給を改善した。これに対して、本実施例では、活性層内のバリアの厚さを変えることにより、供給されるキャリアを制御し、各波長の利得を均一化したものである。図 24 を用いて活性層の構成について説明する。その他の部分の構成は図 4 と同じである。

【0136】図 24 中、522 に示した矢印は積層方向を示している。521 は Be がドーピングされた光ガイド層領域で、図 4 中では光ガイド層 32 に相当する。活性層の構成は、537 に示した引っ張り歪みの領域と 538 の圧縮歪みの領域に分かれる。まず、537 の引っ張り歪み領域の構成について説明する。521 に示した光ガイド層上に、まず、523 に示すノンドープ InGaAs による井戸を 130 Å 成長している。この井戸 523 は引っ張り歪みを入れており、歪み量は 1.0% である。続いて、524 に示したバリア層を形成する。この層 524 はノンドープ InGaAsP により構成されており、膜厚は 60 Å である。歪み量は圧縮歪みを 0.2% 加えている。この上に、525 に示す井戸を積層する。ノンドープ InGaAs により構成されており、膜厚は 130 Å である。引っ張り歪み量は 0.8% である。続いて、バリア層 526 を 80 Å 形成している。組成は 524 に示したものと同じである。この上に、527 に示すノンドープ InGaAs の井戸を 130 Å 形成する。引っ張り歪み量は 0.6% である。以上が 537 に示した引っ張り歪み領域の構成である。523、525、527 に示した井戸の歪み量を変化させることにより、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する。よって、それぞれの井戸 523、525、527 による利得が都合よく重なり合い、広波長帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。加えて、524、526 のバリア幅を変えることにより、動きにくいキャリアの供給を改善している。

【0137】図 24 の引っ張り歪み領域 537 において幅の狭いバリアを P 導電型層寄りに配置した理由は、第 6 実施例において述べた。この結果、引っ張り歪み領域 537 での各井戸 523、525、527 の利得を調整することができ、広波長帯域でほぼ均一の利得を得ることができた。

【0138】続いて、TE モードを発生する圧縮歪み活性層 538 の構成について記述する。527 に示した引っ張り歪み井戸の上に、528 に示した引っ張り歪み活性領域 537 と圧縮歪み活性領域 538 を分離するバリア 528 を形成する。組成はノンドープ InGaAsP であり、厚みは 100 Å である。この上に、529 に示す 0.2% の圧縮歪みを入れたノンドープ InGaAs を 4 nm 形成する。530 はバリア層のノンドープ InGaAsP であり、歪みは入れていない。厚みは 60 Å である。続いて、0.4% の圧縮歪みを入れた 531 のノンドープ InGaAsP 井戸を 4 nm 形成する。バリア層 532 の組成は 532 と変わらないノンドープ InGaAsP を用いており、厚みが 80 Å となっている。533 は 0.6% の圧縮歪みを持ったノンドープ InGaAsP 井戸であり、4 nm 積層している。534 は上部光ガイド層であるノンドープ InGaAsP 層である。膜厚は 0.2 μm としている。以上が 538 に示す

圧縮歪み領域の構成である。

【0139】以上示した様に、活性層内のバリア幅を制御し、供給されにくいキャリア、ここではホール536の側を薄くすることにより、ホールがバリアを越え易くし、均一に活性層に広がる様に出来た。この様な構成を有したレーザの駆動方法は第6の実施例のものと同一である。

【0140】尚、本実施例においてバリアの幅を、引っぱり歪み領域537と圧縮歪み領域538とで、各々独立に制御しているが、特にこれには限定されず、P側からN側に連続的に変えてもよい。また、本構成においてはホールが動きにくいキャリアとなっているが、たとえば、第10実施例に示した様に、バリアまたは活性層にP型のドーピングを施すことにより電子を制御することも可能である。この時は、N側に近いバリア程、幅が狭く、電子が供給され易くする。

【0141】第13実施例

図25を用いて、利得を優先的に発生させたい井戸を少数キャリア供給側に配置した第13実施例を説明する。本実施例の偏波変調レーザの共振器方向の全体構成断面は図1(a)に示した通りである。

【0142】バンドギャップ構造図である図25を用いて、本実施例の活性層領域3の構成について説明する。図25中、621に示した矢印は積層方向を示している。622はBeがドーピングされた光ガイド層領域であり、図1(a)中では光ガイド層2に相当する。活性層3の構成は、623に示した引っぱり歪みの領域と624の無歪みの領域に分かれる。まず、引っぱり歪みの領域623の構成について説明する。光ガイド層622上に、まず、611に示すノンドープInGaAsによる井戸を90Å成長している。この井戸611は引っぱり歪みを入れており、歪み量は1.0%である。続いて、614に示したバリア層を形成する。このバリア層614はノンドープInGaAsPにより構成されており、膜厚は70Åである。歪み量は圧縮歪みを0.2%を加えている。ここで引っぱり歪みの反対の圧縮歪みを入れているのは、歪み補償効果で井戸層の結晶性などを良くする為である。

【0143】この上に、612に示す井戸を積層する。この井戸612はノンドープInGaAsにより構成されており、膜厚は130Åである。その引っぱり歪み量は1.0%である。続いて、バリア層を70Å形成している。構成はバリア層614で示したものと同一である。この上に、613に示すノンドープInGaAsの井戸を110Å形成する。この引っぱり歪み量は1.0%である。以上が623に示した引っぱり歪み領域の構成である。

【0144】図26は、この活性領域により得られる利得分布を示したものである。図26の縦軸は利得を示し、横軸は波長を示している。本実施例では、膜厚の小

さい井戸611と大きい井戸612を隣接して形成することにより、図26中の628で示す様にTMモードのゲインは短波長側と長波長側が優位となり全体的にゲインがほぼ均一な領域が広がった。この結果、図26に示すように、TMモードは1480nmから1520nmに渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。

【0145】図25の引っぱり歪み領域623において、利得を優先的に発生させたい井戸をP導電型層寄りに配置した理由は、以下の通りである。既に述べた様に、P型のホールキャリアの拡散距離がN型の電子に比べ比較的短く、N側の電子は図25の618に示す様に活性層全体に供給されるのに対して、ホール619の拡散長は短く、初期的にはP側にある井戸の方が利得を得やすい。一方、井戸の幅が狭いと基底準位が上がり、キャリアの閉じ込めが悪くなる。この結果、幅が狭い井戸がP導電型層から離れて形成されると利得を発生しにくくなると考えられる。よって、優先的に利得を必要とする井戸はP側に形成する様にしている。この結果、図26にも示した様に、引っぱり歪み領域623での各井戸611、612、613の利得を調整することができ、広帯域でほぼ均一の利得を得ることができた。この構成においても利得の均一化が図れない場合は、利得が小さい波長帯域の井戸を増やすなどの対応をすればよい。この場合においても、引っぱり歪み領域623においては、幅の狭い井戸がP側に配置されていることが必要である。

【0146】ここで、611、612、613の井戸に用いた引っぱり歪みは、既に述べた様に、TMモードだけでなくTEモードの利得も発生する。例えば、引っぱり歪み量1.0%の井戸では、引っぱり歪み井戸から発生するTEモードの利得ピークはTMモードの利得ピークよりも短波長側になり、しきい値付近の電流注入状態で約20nmの差となっている。

【0147】続いて、TEモードを発生する無歪み活性層624の構成について記述する。先ず、引っぱり歪み井戸613の上に、引っぱり歪み活性領域623と無歪み活性領域624を分離するバリア617を形成する。組成はノンドープInGaAsPであり、厚みは100Åである。この上に、615に示す無歪みのノンドープInGaAsを6nm形成する。続いて、616で示すバリア層であるノンドープInGaAsPを形成する。これには歪みは入れていなくて、厚さは70Åである。井戸615は同一のものを3層積層し、バリア層616は同一のものを2層積層した。以上が624に示す無歪み領域の構成である。

【0148】この無歪み活性層の発光波長は1500nmを中心として、TEモード利得のほぼ均一な幅は約20nm程度となる。本実施例においては、TEモードの利得は、この無歪み活性領域624により発生する利得と、引っぱり歪み領域623により発生するTEモード

利得とにより形成される。よって、無歪み井戸 615 により発生する利得よりも広くなり、図 26 の 627 に示す様に、TE モードは約 1480 nm から 1520 nm と 40 nm の波長帯域においてほぼ均一な利得を得ることができた。

【0149】この様な構成を有した本実施例のレーザの駆動方法は第 1 実施例と同じである。以上説明した様に、引っ張り歪みの領域において、利得のほぼ均一な波長帯域を広くする為に井戸幅の異なる井戸を用いることと、且つ優先的に短波長側と長波長側のゲインを得る為に井戸幅の狭い井戸と広い井戸を隣接して P 側に配置することにより、利得が広波長帯域においてほぼ均一な半導体レーザなどの光半導体デバイスを実現することができた。

【0150】尚、活性層幅を異ならせる井戸は引っ張り歪み井戸に限ったことではなく、無歪み井戸でもよく、これでも利得のほぼ均一な波長帯域の改善が可能である。また、狭い井戸を P 側に形成する条件としては、ホールが拡散しにくいこと、すなわち、活性層中の井戸またはバリアがノンドープか N 型ドープであることが必要である。

【0151】第 14 実施例

図 27、図 28 を用いて本発明の第 14 の実施例を示す。本実施例は、利得の拮抗を図る為に、引っ張り歪み領域のみでなく圧縮歪み領域の活性層の形成法を変えた点と、作りつけた導波路の伝搬定数を制御し位相制御により安定的に TE モード/TM モードの切り換えを実現したことが特徴である。

【0152】レーザの全体構成は、基板が P-InP 膜であり各層の導電型が異なる点を除いて、図 7 に示すものと同じである。

【0153】図 27 を用いて、活性層の構成について説明する。本実施例の特徴は、利得の拮抗を図る為に、引っ張り歪み領域のみでなく、圧縮歪み領域にまで活性層の並べ換えを行なった点にある。図 27 中、652 に示した矢印は積層方向を示している。632 は Be がドーピングされた光ガイド層領域である。活性層の構成は、653 に示した引っ張り歪みの領域と 654 の圧縮歪みの領域に分かれる。

【0154】まず、653 の領域の構成について説明する。632 に示した光ガイド層上に、まず、641 に示すノンドープ InGaAs による井戸を 80 Å 成長している。ここの井戸は引っ張り歪みを入れており、歪み量は 0.8% である。続いて、644 に示したバリア層を形成する。この層はノンドープ InGaAsP により構成されており、膜厚は 100 Å である。歪み量は圧縮歪みを 0.2% を加えている。この上に、642 に示す井戸を積層する。ノンドープ InGaAs により構成されており、膜厚は 120 Å であり、引っ張り歪み量は 0.8% である。続いてバリア層を 100 Å 形成している。

構成は 644 に示したものと同じである。この上に、643 に示すノンドープ InGaAs の井戸を 100 Å 形成する。引っ張り歪み量は 0.8% である。これが 653 に示した引っ張り歪み領域の構成である。

【0155】図 28 は、利得分布を示したものである。図 28 の縦軸は利得を示し、横軸は波長を示している。図 27 中の 641、642 に示した様に狭い井戸と広い井戸を隣接させることにより、短波領域と長波領域のゲインを優先的に得ることが可能となり、広帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となった。ここで用いた井戸により、図 28 の 658 に示すように、TM モードは 1480 nm から 1530 nm に渡り広範囲に利得が確保できる様になった。

【0156】図 27 の引っ張り歪み領域 653 において利得を優先的に得る井戸を P 導電型層寄りに配置した理由は、第 13 実施例において述べた通りである。

【0157】続いて、TE モードを発生する圧縮歪み活性層の構成について記述する。643 に示した引っ張り歪み井戸の上に、645 に示した引っ張り歪み活性領域 653 と圧縮歪み活性領域 654 を分離するバリアを形成する。組成はノンドープ InGaAsP であり、厚みは 150 Å である。この上に、646 に示す 0.4% の圧縮歪みを入れたノンドープ InGaAs を 30 Å 形成する。647 はバリア層であるノンドープ InGaAsP を用いており、歪みは入れていない。続いて、0.4% の圧縮歪みを入れた 648 のノンドープ InGaAs を 50 Å 形成する。次のバリア層は 647 と変わらないノンドープ InGaAsP を用いており、歪みは入れていない。層 649 は 0.4% の圧縮歪みを持ったノンドープ InGaAs を 40 Å 積層している。634 は上部光ガイド層である Si ドープ InGaAsP 層である。膜厚は 0.2 μm としている。以上が、654 に示す圧縮歪み領域の構成である。この圧縮歪み活性層により、TE モードの利得が均一化される波長領域は図 28 の 659 に示す様に、約 1470 nm から 1530 nm と 60 nm の広帯域に渡る。

【0158】TE モードおよび TM モードの利得がほぼ均一となっている領域が重なる範囲は、1480 nm から 1530 nm と約 50 nm となる。しきい値付近において TE モード利得および TM モード利得が均衡しない場合は、不足している波長付近の井戸層を増加し、利得の改善を図ればよい。また、本実施例では、引っ張り歪みおよび圧縮歪みとも井戸数は 3 層としているが、井戸数はこれに限るものではない。本実施例は、最も幅の狭い井戸と最も幅の広い井戸を隣接形成し、広範囲な利得の確保を実現したものである。つまり、構成的には 2 層以上から本実施例は適用できる。井戸が複数ある場合の井戸の並べ方としては、利得の均一化を前提とし、第一に幅の狭い井戸と第一に広い井戸に続いて 3 層以降は、第二に幅の狭い井戸、続いて第二に幅の広い井戸、続いて

て第三に幅の狭い井戸、続いて第三に幅の広い井戸・ ・と、必要とする波長帯域の両端（短波側、長波側）の利得を優先した構成にすることが望ましい。

【0159】この様な構成を有したレーザの駆動方法については、第3実施例の駆動説明の所で説明した通りである。本構成でも、活性層におけるTEモード、TMモードの利得差が小さく、広帯域において安定な為に、安定にTEモードとTMモードの間でスイッチングできるレーザ等が実現できる。

【0160】第15実施例

図29を用いて本発明の第15の実施例について説明する。全体構成は図10に示すものと同じである。

【0161】図29を用いて活性層の構成について説明する。この実施例の特徴は、活性層にP型不純物をドーピングし、電子を制御キャリアにした点にある。113の活性領域の構成について説明する。図29中、732に示した矢印は積層方向を示している。112はSiがドーピングされた図10に示す光ガイド層領域である。活性層の構成は、734に示した引っ張り歪みの領域と733の圧縮歪みの領域に分かれる。

【0162】TEモード利得を発生する圧縮歪み活性層733の構成について記述する。まず、721に示す0.8%の圧縮歪みを入れたノンドープInGaAsPを50Å形成する。722はバリア層のBeドーブInGaAsPであり、歪みは入れていない。続いて、0.8%の圧縮歪みを入れた723のノンドープInGaAsPの井戸を70Å形成する。この上のバリア層は、722と変わらないBeドーブInGaAsPを用いており、歪みは入れていない。724は0.8%の圧縮歪みを持ったノンドープInGaAsPの井戸であり、60Å積層している。725は、733の圧縮歪み領域と734の引っ張り歪み領域を分離するBeドーブInGaAsPバリア層である。膜厚は200Åとしている。以上が733に示す圧縮歪み領域の構成である。この圧縮歪み活性層733により、TEモード利得が均一化される波長領域は図30の746に示す様に、約1480nmから1540nmと60nmの広帯域に渡る。

【0163】続いて、734の引っ張り歪み領域の構成について説明する。725のバリア層上に、まず、726に示すノンドープInGaAsによる井戸を80Å成長している。この井戸726は引っ張り歪みを入れており、歪み量は1.0%である。続いて、727に示したバリア層を形成する。この層727はBeドーブInGaAsPにより構成されており、膜厚は100Åである。歪み量は圧縮歪みを0.2%加えている。この上に、728に示す井戸を積層する。井戸728はノンドープInGaAsにより構成されており、膜厚は120Åである。引っ張り歪み量は1.0%である。続いて、バリア層を100Å形成している。構成は727に示したのと同じである。この上に、729に示すノンドー

プInGaAsの井戸を100Å形成する。引っ張り歪み量は1.0%である。以上が734に示した引っ張り歪み領域の構成である。726、728に示した様に狭い井戸と広い井戸を隣接させることにより、短波領域と長波領域のゲインを優先的に得ることが可能となり、広波長帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。ここで用いた井戸726、728により、図30の745に示すように、TMモードは1470nmから1530nmに渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。

10 【0164】図29において、活性層のバリアにP型ドーピングした理由は、しきい電流密度を下げることにある。また、P型をドーピングすることにより、より拡散のし易い電子730を利用して活性層の利得の均一化を図ることを目的としている。この結果、低電流領域での発振と電子の拡散がし易い為に、低電流領域でのスイッチングが可能となった。

【0165】図29の圧縮歪み領域733において利得を優先的に得たい井戸をN導電型層寄りに配置した理由は、これまで述べてきたように、短波長側の井戸と長波長側の井戸に優先的に少数キャリアを供給することにより、広帯域での利得の均一化を図る為である。仮に、しきい値付近においてTEモード利得およびTMモード利得が均衡しない場合は、不足している波長付近の井戸層を増加し、利得均衡の改善を図ればよい。また、ここではP型のドーピングをバリア層のみに行なったが、井戸に行なってもよい。また、図29において、734の引っ張り歪み領域にはBeをドーピングせず、733の圧縮歪み領域のみにドーピングして、TEモード利得の立ち上がりを改善し、低電流領域でのスイッチングを実現してもよい。

【0166】本実施例の動作は第4実施例と同様である。以上説明した様に、引っ張り歪みの領域および圧縮歪み領域において利得均一帯域を広くする為、井戸の幅を変えると共にP型不純物をドーピングした活性層を用いることにより、TMモードおよびTEモードの利得のほぼ均一な範囲をより自由に設定している。こうして、広帯域においてほぼ均一な利得を持つ半導体レーザなどの光半導体デバイスを実現することが出来た。

【0167】上記の活性層を共通活性層としてアレーレーザを構築することもできる。例えば、図30の747に示すように8波の異なる波長で発振する様に構成できる。TEモード、TMモードの利得がほぼ均一で均衡した領域が広帯域に形成できることにより、同一の活性層により、プロセス工程が少なく多波長のアレーレーザが容易に作製可能である。

【0168】第13乃至第15の実施例では、引っ張り歪みの領域および圧縮歪み領域において、夫々別個に最も狭い井戸を少数キャリア供給側に置き、これと隣接して最も広い井戸を形成しているが、場合によっては、引っ張り歪みの量子井戸と圧縮歪みの量子井戸を混合して

考えて、最も狭い井戸を少数キャリア供給側に置き隣接して最も広い井戸を形成して、短波領域と長波領域のゲインを優先的に得る様にもできる。

【 0 1 6 9 】 第 1 6 実施例

図 3 1、図 3 2 を用いて、同じく利得を優先的に発生させたい井戸を少数キャリア供給側に配置した第 1 6 の実施例を説明する。本実施例の偏波変調レーザの共振器方向の全体構成断面は図 1 (a) に示すものと同じである。

【 0 1 7 0 】 バンドギャップ構造図である図 3 1 を用いて、活性領域 3 の構成について説明する。図 3 1 中、8 2 1 に示した矢印は積層方向を示している。8 2 2 は Be がドーピングされた光ガイド層領域であり、図 1 (a) 中では光ガイド層 2 に相当する。活性層 3 の構成は、8 2 3 に示した引っ張り歪みの領域と 8 2 4 の無歪みの領域に分かれる。

【 0 1 7 1 】 まず、引っ張り歪みの領域 8 2 3 の構成について説明する。光ガイド層 8 2 2 上に、まず、8 1 1 に示すノンドープ InGaAs による井戸を 1 2 0 Å 成長している。この井戸 8 1 1 は引っ張り歪みを入れており、歪み量は 1. 2 % である。続いて、8 1 4 に示したバリア層を形成する。このバリア層 8 1 4 はノンドープ InGaAsP により構成されており、膜厚は 1 0 0 Å である。歪み量は圧縮歪みを 0. 2 % を加えている。ここで引っ張り歪みの反対の圧縮歪みを入れているのは、歪み補償効果で井戸層の結晶性などを良くする為である。

【 0 1 7 2 】 この上に、8 1 2 に示す井戸を積層する。ノンドープ InGaAs により構成されており、膜厚は 1 2 0 Å である。引っ張り歪み量は 0. 6 % である。続いて、バリア層を 1 0 0 Å 形成している。この構成はバリア層 8 1 4 で示したものと同じである。この上に、8 1 3 に示すノンドープ InGaAs の井戸を 1 2 0 Å 形成する。引っ張り歪み量は 0. 9 % である。以上が 8 2 3 に示した引っ張り歪み領域の構成である。井戸 8 1 1、8 1 2、8 1 3 の説明の所で示した様に井戸の歪み量を設定することにより、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する（引っ張り歪み量が大きくなるにつれて量子準位間隔が広がり、バンドギャップが大きくなる）。それと共に、歪み量の大きな井戸 8 1 1 と小さな井戸 8 1 2 を隣接形成することにより、従来利得が低下していた領域の利得を稼ぐことが可能となり、広い波長帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。

【 0 1 7 3 】 図 3 2 は、この活性領域により得られる利得分布を示したものである。ここで用いた井戸により、図 3 2 中の 8 2 8 で示す様に TM モードは 1 5 0 0 nm から 1 5 5 0 nm に渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。

【 0 1 7 4 】 図 3 1 の引っ張り歪み領域 8 2 3 において、利得を優先的に発生させたい井戸を P 導電型層寄り

に配置した理由は、以下の通りである。既に述べた様に、P 型のホールキャリアの拡散距離が N 型の電子に比べ比較的短く、N 側の電子は図 3 1 の 8 1 8 に示す様に活性層全体に供給されるのに対して、ホール 8 1 9 の拡散長は短く、初期的には P 側にある井戸の方が利得を得やすい。一方、引っ張り歪み井戸において歪み量が大い井戸材料のバンドギャップの幅が増加し、基底準位が上がってくる。この結果、バリア層と量子準位の障壁差が取りにくくなり、井戸へのキャリアの閉じ込めが悪くなる。仮に、歪みの大きな井戸（つまり、バンドギャップの大きな井戸）が P 導電型から離れて形成されると、均一に利得を得ることが困難となる。よって、引っ張り歪み領域において、キャリアの閉じ込めの低下を補う為に歪み量の大きな井戸ほど P 側に形成しているのである。

【 0 1 7 5 】 また、この歪み量の大きな井戸の隣に最も歪み量の小さな井戸を形成した理由は、従来利得の低下が激しかった長波長側と短波長側の利得を補完し、より利得の確保された波長帯域を広げる点にある。この結果、図 3 2 にも示した様に、引っ張り歪み領域 8 2 3 で波長帯域の短波長側と長波長側の利得が優先的に確保でき、広帯域でほぼ均一の利得を得ることができた。この構成においても利得の均一化が図れない場合は、利得が小さい波長帯域の井戸を増やすなどの対応をすればよい。ここで、8 1 1、8 1 2、8 1 3 の井戸に用いた引っ張り歪みは、TM モードだけでなく TE モードの利得も発生する。引っ張り歪み量 1. 0 % の井戸では、引っ張り歪み井戸から発生する TE モードの利得ピークは TM モードの利得ピークよりも短波長側になり、しきい値付近の電流注入状態で約 2 0 nm の差となっている。

【 0 1 7 6 】 続いて、TE モードを発生する無歪み活性層 8 2 4 の構成について記述する。先ず、引っ張り歪み井戸 8 1 3 の上に、引っ張り歪み活性領域 8 2 3 と無歪み活性領域 8 2 4 を分離するバリア 8 1 7 を形成する。組成はノンドープ InGaAsP であり、厚みは 1 5 0 Å である。この上に、8 1 5 に示す無歪みのノンドープ InGaAs を 6 nm 形成する。続いて、8 1 6 で示すバリア層であるノンドープ InGaAsP を形成する。これには歪みは入れていなくて、厚さは 1 0 0 Å である。井戸 8 1 5 は同一のものを 3 層積層し、バリア層 8 1 6 は同一のものを 2 層積層した。以上が、8 2 4 に示す無歪み活性領域の構成である。

【 0 1 7 7 】 この無歪み活性層の発光波長は 1 5 0 0 nm を中心として、利得のほぼ均一な幅は約 2 0 nm 程度となる。本実施例において、TE モードの利得は、この無歪み活性領域 8 2 4 により発生する利得と、引っ張り歪み領域 8 2 3 により発生する TE モード利得とにより形成される。よって、TE モード利得の波長領域は無歪み井戸領域により発生する利得よりも広くなり、図 3 2 の 8 2 7 に示す様に、TE モードは、約 1 5 0 0 nm か

ら 1 5 5 0 n m と 5 0 n m の帯域においてほぼ均一な利得を得ることができた。

【0 1 7 8】この様な構成を有した本実施例のレーザの駆動方法については第 1 実施例の所で説明したものと同一である。以上説明した様に、引っ張り歪みの領域において、利得のほぼ均一な帯域を広くする為に井戸の歪みを変え、且つ歪み量の大きな井戸と最も小さな井戸を P 側に配置することにより、利得が広波長帯域においてほぼ均一な半導体レーザなどの光半導体デバイスを実現することができた。

【0 1 7 9】尚、活性層の歪み量を異ならせる井戸は引っ張り歪みに限ったことではない。無歪みまたは圧縮歪みの井戸でもよく、これでも利得のほぼ均一な帯域の改善が可能である。また、歪み量の大きな井戸を P 側に形成する条件としては、ホールが拡散しにくいこと、活性層中の井戸またはバリアがノンドープか N 型ドープであることが必要である。

【0 1 8 0】第 1 7 実施例

図 3 3、図 3 4 を用いて本発明の第 1 7 の実施例を示す。本実施例は、初期的に作りつけた導波路の伝搬定数

を制御し、位相制御により T E モード / T M モードの切り換えを実現したことが特徴である。

【0 1 8 1】レーザの全体構成は、基板が P - I n P 膜であり各層の導電型が異なる点を除いて、図 7 に示すものと同じである。ストライプ幅を、電極 6 9、7 1 に対応した領域のレーザストライプ幅 D 2 は 1 . 5 μ m と狭く、電極 7 0 に対応した領域のストライプ幅 D 1 は 3 . 0 μ m と広くした。ストライプ構造としてはリッジ導波路型を採用したが、埋め込み等でもよい。ストライプ幅を変えた理由は、初期的に導波路間に伝搬定数差即ち屈折率差をつけ位相差を設けておき、安定に T E モード / T M モードスイッチングを実現する為である。

【0 1 8 2】図 3 3 を用いて、活性層の構成について説明する。この実施例の特徴は、歪み量の変化による或る程度以上の大きさを持つ利得の波長帯域拡大を、引っ張り歪み領域のみでなく、圧縮歪み領域にまで拡大している点にある。図 3 3 中、8 5 2 に示した矢印は積層方向を示している。8 3 2 は B e がドーピングされた光ガイド層領域で図 7 (a) 中では 6 2 に相当する。活性層の構成は、8 5 3 に示した引っ張り歪みの領域と 8 5 4 の圧縮歪みの領域に分かれる。

【0 1 8 3】まず、8 5 3 の引っ張り歪みの領域の構成について説明する。8 3 2 に示した光ガイド層上に、まず、8 4 1 に示すノンドープ I n G a A s による井戸を 1 3 0 Å 成長している。ここの井戸は引っ張り歪みを入れており、歪み量は 1 . 1 % である。続いて、8 4 4 に示したバリア層を形成する。この層 8 4 4 はノンドープ I n G a A s P により構成されており、膜厚は 8 0 Å である。歪み量は圧縮歪みを 0 . 2 % を加えている。この上に 8 4 2 に示す井戸を積層する。ノンドープ I n G a

A s により構成されており、膜厚は 1 3 0 Å であり、引っ張り歪み量は 0 . 7 % である。続いてバリア層を 8 0 Å 形成している。構成は 8 4 4 に示したものと同一である。この上に 8 4 3 に示すノンドープ I n G a A s の井戸を 1 3 0 Å 形成する。引っ張り歪み量は 0 . 9 % である。これが 8 5 3 に示した引っ張り歪み領域の構成である。

【0 1 8 4】図 3 4 は、利得分布を示したものである。

図 3 4 の縦軸は利得を示し、横軸は波長を示している。

図 3 3 中の 8 4 1、8 4 2、8 4 3 に示した井戸の歪み量を変化させることにより、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する。それと共に、歪み量の大きな井戸 8 4 1 と小さな井戸 8 4 2 を隣接形成することにより、従来利得が低下していた領域の利得を稼ぐことが可能となり、広い波長帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。ここで用いた井戸により、T M モードは図 3 4 の 8 8 9 で示す様に 1 5 0 0 n m から 1 5 6 0 n m に渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。

【0 1 8 5】図 3 3 の引っ張り歪み領域 8 5 3 において利得を優先的に得る井戸を P 導電型層寄りに配置した理由は、第 1 6 実施例において述べた通りである。この結果、図 3 4 にも示した様に、引っ張り歪み領域での各井戸の利得を調整することができ、広帯域でほぼ均一の利得を得ることができた。この構成においても利得の均一化が図れない場合は、利得が小さい波長帯域の井戸を増やすなどの対応をすればよい。この場合においても、引っ張り歪み領域においては、歪み量の大きな井戸が P 側に配置されていることが必要である。

【0 1 8 6】続いて、T E モードを発生する圧縮歪み活性層 8 5 4 の構成について記述する。8 4 3 に示した引っ張り歪み井戸の上に、8 4 5 に示した引っ張り歪み活性領域 8 5 3 と圧縮歪み活性領域 8 5 4 を分離するバリアを形成する。組成はノンドープ I n G a A s P であり、厚みは 1 0 0 Å である。この上に 8 4 6 に示す 0 . 6 % の圧縮歪みを入れたノンドープ I n G a A s P を 5 n m 形成する。8 4 7 はバリア層である。ノンドープ I n G a A s P を用いており、歪みは入れていない。続いて、1 . 1 % の圧縮歪みを入れた 8 4 8 のノンドープ I n G a A s P 井戸を 5 n m 形成する。次のバリア層は 8 4 7 と変わらないノンドープ I n G a A s P を用いており、歪みは入れていない。8 4 9 は 0 . 8 % の圧縮歪みを持ったノンドープ I n G a A s 井戸であり、5 n m 積層している。8 3 4 は上部光ガイド層である S i ドープ I n G a A s P 層であり、膜厚は 0 . 2 μ m としている。図 7 (a) の上部光ガイド層 6 4 に相当する。以上が 8 5 4 に示す圧縮歪み領域の構成である。

【0 1 8 7】圧縮歪みにおいては、井戸幅が一定の場合、歪み量が増加すると、I n が増加することになる為に井戸に使用されている I n G a A s P のバンドギャップは長波長化する。つまりバンドギャップが狭くなる。

10

20

30

40

50

この構成では、846の井戸が最もバンドギャップが広く、歪みが大きくなるに従い井戸849、848の順でバンドギャップは狭くなる。この結果、圧縮歪み活性層854においても、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する。それと共に、歪み量の小さな井戸846と大きな井戸848を隣接しP側に形成することにより、従来利得が低下していた領域の利得を稼ぐことが可能となり、広帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。この圧縮歪み領域の構成においては、TEモード利得が、約1480nmから1550nmと70nmの広波長帯域を得た。

【0188】本実施例において、TEモードおよびTMモード利得がほぼ均一となっている領域が重なる範囲は、1500nmから1550nmと約50nmとなる。但し、広範囲に利得を持つ井戸があっても、しきい値付近においてTEモード利得およびTMモード利得が均衡しない場合が生じる。この場合は、不足している利得の波長付近の井戸層を増加し、利得の改善を図ればよい。また、本実施例では、引っ張り歪みおよび圧縮歪みとも井戸数は3層としているが、井戸数はこれに限るものではない。尚、本実施例においては、引っ張り歪み領域が少数キャリアであるホール851が供給されて来るP側に近く形成され、圧縮歪み領域が多数キャリアである電子850が供給されて来るN側に近く形成されているが、必ずしもこれが必然ではない。圧縮歪み領域が少数キャリア供給側に形成されていてもよい。本実施例の本質は、各歪み領域（圧縮歪み或は無歪み領域、引っ張り歪み領域）において、少数キャリアの供給される側に利得を必要とするバンドギャップの最も広い井戸と最も狭い井戸を設けることである。但し、必要な場合は、これらの歪み領域を混合的に考えて、その中でバンドギャップの最も広い井戸と最も狭い井戸を少数キャリアの供給される側に設けてもよい。

【0189】以上説明した様に、引っ張り歪みの領域および圧縮歪み領域において利得の波長帯域を広くする為、井戸の歪み量を変えかつバンドギャップの広い井戸と狭い井戸をP側に配置することにより、第16実施例に比較してTMモード、TEモードの利得分布を図34の889、890で示す如く、より自由に設定し、広帯域においてほぼ均一な利得を持つ半導体レーザを実現することが出来た。本実施例においては、P基板を用いた例を示したが、N基板を用いてもよい。

【0190】この様な構成を有したレーザの駆動方法については、第3実施例の駆動説明と本質的に同じである。

【0191】本構成でも、活性層におけるTEモード、TMモードの利得差が小さく、広帯域において安定な為に、安定にTEモードとTMモードの間でスイッチングできるレーザ等が実現できる。

【0192】第18実施例

図35、図36を用いて本発明の第18の実施例について説明する。全体構成の断面は図10に示すものと同じである。

【0193】図35を用いて第18実施例の活性層113の構成について説明する。この実施例の特徴は、活性層にP型不純物をドーピングし、電子を制御キャリアにし、N側に近い井戸のバンドギャップを広く設定した点にある。図35中、932に示した矢印は積層方向を示している。112はSiがドーピングされた光ガイド層領域である。活性層113の構成は、934に示した引っ張り歪みの領域と933の圧縮歪みの領域に分かれる。

【0194】TEモード利得を発生する圧縮歪み活性層933の構成について記述する。まず、921に示す0.8%の圧縮歪みを入れたノンドープInGaAsPを4nm形成する。922はバリア層のBeドーープInGaAsPであり、歪みは入れていない。膜厚は100Åとしている。続いて、1.2%の圧縮歪みを入れた923のノンドープInGaAsPの井戸を4nm形成する。この上のバリア層は、922と変わらないBeドーープInGaAsPを用いており、歪みは入れていない。924は1.0%の圧縮歪みを持ったノンドープInGaAsPの井戸であり、4nm積層している。925は、933の圧縮歪み領域と934の引っ張り歪み領域を分離するBeドーープInGaAsPバリア層である。膜厚は100Åとしている。以上が933に示す圧縮歪み領域の構成である。

【0195】この圧縮歪み活性層933によりTEモード利得が均一化される波長領域は図36の946に示す様に、約1460nmから1540nmと80nmの広帯域に渡る。ここで、図36の縦軸は利得を示し、横軸は波長を示している。

【0196】続いて、934の引っ張り歪み領域の構成について説明する。925のバリア層上に、まず、926に示すノンドープInGaAsによる井戸を130Å成長している。この井戸926は引っ張り歪みを入れており、歪み量は1.0%である。続いて、927に示したバリア層を形成する。この層927はBeドーープInGaAsPにより構成されており、膜厚は100Åである。歪み量は圧縮歪みを0.2%加えている。この上に、928に示す井戸を積層する。井戸928はノンドープInGaAsにより構成されており、膜厚は130Åである。引っ張り歪み量は0.6%である。続いて、バリア層を100Å形成している。構成は927に示したものと同じである。この上に、929に示すノンドープInGaAsの井戸を130Å形成する。引っ張り歪み量は0.8%である。以上が934に示した引っ張り歪み領域の構成である。井戸926、928、929で示した様に引っ張り歪み量を変化させることにより、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する。よ

って、夫々の井戸 9 2 6、9 2 8、9 2 9 による利得が都合よく重なり合い、広波長帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。ここで用いた井戸 9 2 6、9 2 8、9 2 9 により、図 3 6 の 9 4 5 に示すように、TM モードは 1 4 7 0 nm から 1 5 5 0 nm に渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。

【0 1 9 7】図 3 5 において、活性層 1 1 3 のバリアに P 型ドーピングした理由は、しきい電流密度を下げることにある。また、P 型不純物をドーピングすることにより、より拡散の長い電子 9 3 0 を利用して活性層 1 1 3 の利得の均一化を図ることを目的としている。この結果、低電流領域での発振具合と電子の拡散が良い為に、低電流領域でのスイッチングが可能となった。

【0 1 9 8】図 3 5 の引っ張り歪み領域 9 3 3 において利得を優先的に得ようとする井戸を N 導電型層寄りに配置した理由は、これまで述べてきたように、広帯域での利得の均一化を図るものである。仮に、しきい値付近において TE モード利得および TM モード利得が均衡しない場合は、不足している波長付近の井戸層を増加し、利得均衡の改善を図ればよい。また、ここでは P 型のドーピングをバリア層のみに行なったが、井戸に行なってもよい。また、図 3 5 において、9 3 4 の引っ張り歪み領域には Be をドーピングせず、9 3 3 の圧縮歪み領域のみにドーピングして、TE モード利得の立ち上がりを改善し、低電流領域でのスイッチングを実現してもよい。

【0 1 9 9】本実施例の動作は第 1 6 実施例と同様である。以上説明した様に、引っ張り歪みの領域 9 3 4 および圧縮歪み領域 9 3 3 において利得均一帯域を広くする為、井戸のバンドギャップを変え（引っ張り歪みの領域と圧縮歪み領域とは、バンドギャップの変化方向と歪み量の変化方向の関係は互いに逆である）、P 型をドーピングした活性層を用いることにより、TM モードおよび TE モードの利得のほぼ均一な波長範囲をより自由に設定し、広波長帯域においてほぼ均一な利得を持つ半導体レーザなどの光半導体デバイスを実現することが出来る。

【0 2 0 0】上記活性層を共通活性層としてアレーレーザに適用することができる。複数のレーザが横方向に並んだアレーレーザの各レーザのグレーティングピッチを変えており、各レーザの発振波長間隔は 1 nm としている。アレーレーザは、図 3 6 の 9 4 7 に示すように 8 波の異なる波長で発振する様に構成した。

【0 2 0 1】第 1 9 実施例

本実施例では、活性層の歪みの制御によるバンドギャップの制御に加え活性層内のバリアの高さを変えることにより供給されるキャリアを制御し、各波長での利得を均一化したものである。図 3 7 を用いて本実施例の活性層の構成について説明する。図 3 7 は活性層付近のみを拡大した構成のバンドギャップ構造を示す。その他の部分の構成は図 1 (a) と同じである。図 3 7 中、1 2 0 2

に示した矢印は積層方向を示している。1 2 0 1 は Be がドーピングされた光ガイド層領域で、図 1 (a) 中では層 2 に相当する。活性層の構成は、1 2 1 5 に示した引っ張り歪みの領域と 1 2 1 6 の圧縮歪みの領域に分かれる。

【0 2 0 2】引っ張り歪み領域 1 2 1 5 の構成について説明する。1 2 0 1 で示した光ガイド層上に、まず、1 2 0 3 に示すノンドープ InGaAs による井戸を 1 3 5 Å 成長している。ここの井戸 1 2 0 3 は引っ張り歪みを入れており、引っ張り歪み量は 1. 1 % である。続いて、1 2 0 4 に示したバリア層を形成する。この層 1 2 0 4 はノンドープ InGaAsP により構成されており、膜厚は 1 0 0 Å であり、バンドギャップ波長は 1. 2 0 μm に一致する様に設定している。尚、歪み量は圧縮歪みを 0. 2 % を加えている。この上に、1 2 0 5 に示す井戸を積層する。ノンドープ InGaAs により構成されており、膜厚は 1 3 5 Å である。引っ張り歪み量は 0. 6 5 % である。続いて、バリア層 1 2 0 6 を 1 0 0 Å 形成している。構成は、バリア層 1 2 0 4 よりバンドギャップを広くしており、バンドギャップ波長は 1. 1 5 μm に一致する様にしている。厚みは 1 0 0 Å である。この上に、1 2 0 7 に示すノンドープ InGaAs の井戸を 1 3 5 Å 形成する。引っ張り歪み量は 0. 8 % である。以上が 1 2 1 5 に示した引っ張り歪み領域の構成である。1 2 0 4、1 2 0 6 のバリアのバンドギャップ即ちバリア高さをキャリアの供給しにくい P 側を低くすることにより、より効率良くキャリア 1 2 1 8 を均一に活性層に供給できる。よって、それぞれの井戸 1 2 0 3、1 2 0 5、1 2 0 7 による利得が都合よく重なり合い、広波長帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。

【0 2 0 3】続いて、TE モード利得を発生する圧縮歪み活性層 1 2 1 6 の構成について記述する。1 2 0 7 に示した引っ張り歪み井戸の上に、1 2 0 8 に示した引っ張り歪み活性領域 1 2 1 5 と圧縮歪み活性領域 1 2 1 6 を分離するバリアを形成する。組成はノンドープ InGaAsP であり、厚みは 1 0 0 Å である。バンドギャップ波長は 1. 1 5 μm に設定している。この上に、1 2 0 9 に示す 0. 8 % の圧縮歪みを入れたノンドープ InGaAsP の井戸を 4 nm 形成する。1 2 1 0 はバリア層のノンドープ InGaAsP であり、歪みは入っていない。バンドギャップ波長は 1. 2 μm に対応する様に設定している。続いて、1. 2 % の圧縮歪みをいれた 1 2 1 1 のノンドープ InGaAsP の井戸を 4 nm 形成する。この井戸 1 2 1 1 の上のバリア層 1 2 1 2 はノンドープ InGaAsP を用いており、歪みは入っていない。バンドギャップ波長は 1. 1 5 μm に対応する様に設定している。1 2 1 3 は 1. 0 % の圧縮歪みを持ったノンドープ InGaAsP 井戸であり、4 nm 積層している。1 2 1 4 は上部光ガイド層の Si ドープ InGa

AsP層である。バンドキャップ波長は1.15 μm に設定している。膜厚は0.2 μm としている。以上が1216に示す圧縮歪み領域の構成である。

【0204】以上に示した様に、活性層内のバリア高さを制御し、供給されにくいキャリア、ここではホール1218の側を低くすることにより、ホールがバリアを越え易くし均一に活性層に広がる様に出来た。本実施例の動作は上記の実施例と同様である。尚、本実施例においてバリアの高さを、引っ張り歪み領域1215と圧縮歪み領域1216とで、各々独立に制御しているが、特にこれには限定されず、P側からN側に連続的に変えてもよい。例えば、1208に示したバリアの高さを下げて

【0205】また、本構成においては、ホール1218が動きにくいキャリアとなっているが、たとえば、第18実施例に示した様に、バリアまたは井戸層にP型のドーピングを施すことにより電子1217を制御キャリアにすることも可能である。この時は、N側に近いバリア程、高さを低くして、各井戸に電子1217が供給され易くする。

【0206】第20実施例

第19実施例ではバリアの高さ即ちバンドキャップの広さを制御することにより、動きにくいキャリアの供給を改善した。本実施例では、活性層内のバリアの厚さを変えることにより、供給されるキャリアを制御し、各波長での利得を均一化したものである。図38を用いて第20実施例の活性層の構成について説明する。その他の部分の構成は図1(a)と同じである。

【0207】図38中、1222に示した矢印は積層方向を示している。1221はBeがドーピングされた光ガイド層領域で、図1中では光ガイド層2に相当する。活性層の構成は、1237に示した引っ張り歪みの領域と1238の圧縮歪みの領域に分かれる。まず、1237の引っ張り歪み領域の構成について説明する。1221に示した光ガイド層上に、まず、1223に示すノンドープInGaAsによる井戸を130 Å成長している。この井戸1223は引っ張り歪みを入れており、歪み量は1.0%である。続いて、1224に示したバリア層を形成する。この層1224はノンドープInGaAsPにより構成されており、膜厚は60 Åである。歪み量は圧縮歪みを0.2%加えている。この上に、1225に示す井戸を積層する。ノンドープInGaAsにより構成されており、膜厚は130 Åである。引っ張り歪み量は0.6%である。続いて、バリア層1226を80 Å形成している。組成は1224に示したものと同じである。この上に、1227に示すノンドープInGaAsの井戸を130 Å形成する。引っ張り歪み量は0.8%である。以上が1237に示した引っ張り歪み領域の構成である。

【0208】井戸1223、1225、1227の引っ

張り歪み量を変化させることにより、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する。よって、それぞれの井戸1223、1225、1227による利得が重なり合い、広波長帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。加えて、1224、1226のバリア幅を変えることにより、動きにくいキャリアの供給を改善している。

【0209】図38の引っ張り歪み領域1237において幅の狭いバリアをP導電型層寄りに配置した理由は、第6実施例において述べた通りである。

【0210】続いて、TEモードを発生する圧縮歪み活性層1238の構成について記述する。1227に示した引っ張り歪み井戸の上に、1228に示した引っ張り歪み活性領域1237と圧縮歪み活性領域1238を分離するバリア1228を形成する。組成はノンドープInGaAsPであり、厚みは100 Åである。この上に、1229に示す0.2%の圧縮歪みを入れたノンドープInGaAsを4 nm形成する。1230はバリア層のノンドープInGaAsPであり、歪みは入れていない。厚みは60 Åである。続いて、0.6%の圧縮歪みを入れた1231のノンドープInGaAsP井戸を4 nm形成する。この上のバリア層1232の組成は層1230と変わらないノンドープInGaAsPを用いており、厚みが80 Åとなっている。1233は0.4%の圧縮歪みを持ったノンドープInGaAsP井戸であり、4 nm積層している。1234は上部光ガイド層であるSiドープInGaAsP層である。膜厚は0.2 μm としている。以上が1238に示す圧縮歪み領域の構成である。

【0211】以上に示した様に、活性層内のバリア幅を制御し、供給されにくいキャリア、ここではホールの側を薄くすることにより、ホール1236がバリアを越え易くし、均一に活性層に広がる様に出来た。本実施例の動作も上記の実施例と同様である。尚、本実施例においてバリアの幅を、引っ張り歪み領域1237と圧縮歪み領域1238とで、各々独立に制御しているが、特にこれには限定されず、P側からN側に連続的に変えてもよい。また、本構成においてはホールが動きにくいキャリアとなっているが、たとえば、第18実施例に示した様に、バリアまたは活性層にP型のドーピングを施すことにより電子1235を制御キャリアにすることも可能である。この時は、N側に近いバリア程、幅が狭く、電子が供給され易くする。

【0212】第21実施例

図39、図40を用いて、活性層が複数の引っ張り歪み井戸とその間の障壁層のみを有する第21の実施例を説明する。第21の実施例の偏波変調レーザの共振器方向の全体構成断面は図1(a)に示すものと同じである。但し、基板であるP-InP膜1の上には、ピッチ242.1 nmで高さ500 Åの回折格子を形成している。

【0213】バンドギャップ構造図である図39を用いて、活性領域の構成について説明する。図39中、1421に示した矢印は積層方向を示している。1422はBeがドーピングされた光ガイド層領域であり、図1(a)中では光ガイド層2に相当する。光ガイド層1422上に、まず、1411に示すノンドープInGaAsによる井戸を120Å成長している。この井戸1411は引っ張り歪みを入れており、歪み量は0.7%である。続いて、1414に示したバリア層を形成する。このバリア層1414はノンドープInGaAsPにより構成されており、膜厚は100Åである。歪み量は圧縮歪みを0.2%を加えている。ここで引っ張り歪みの反対の圧縮歪みを入れているのは、歪み補償効果で井戸層の結晶性などを良くする為である。

【0214】この上に、1412に示す井戸を積層する。この井戸1412はノンドープInGaAsにより構成されており、膜厚は120Åである。引っ張り歪み量は0.65%である。続いて、バリア層を100Å形成している。この構成はバリア層1414と同じである。この上に、1413に示すノンドープInGaAsの井戸を120Å形成する。引っ張り歪み量は0.6%である。以上が、活性層3の構成である。1411、1412、1413の井戸のところで示した様に井戸の歪み量(0.7%、0.65%、0.6%)を設定することにより、各井戸のバンドギャップが異なり、発光波長が変化する。よって、夫々の井戸1411、1412、1413による利得の波長域が適当にずれて重なり合い、広い波長帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。

【0215】図40は、この活性領域により得られる利得分布を示したものである。ここで用いた井戸1411、1412、1413により、図40中の1427、1428で示す様にTEモード、TMモード共に1530nmから1570nmに渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。仮に、この構成において利得の均一化が図れない場合は、利得が小さい波長帯域の井戸を増やすなどの対応をすればよい。

【0216】以上において、活性層3に、幅12nmで引っ張り歪み量0.6%から0.7%の井戸を使用した理由について図41を用いて記述する。

【0217】図41は、活性層の井戸数が3層で井戸の厚みを12nm一定とし、3層の井戸に同一の引っ張り歪みを入れた時の、歪み量とレーザ出射端面から得られるTEモードとTMモードの光強度差(夫々の自然放光(ASE)のピークパワーの差を示したものである)の関係を示したものである。縦軸がTEモードとTMモードのASEの利得差、横軸が井戸の引っ張り歪み量である。この構成において偏波のスイッチングを確認したのは、引っ張り歪み量0.5%から0.75%(図41の-0.5%から-0.75%)の範囲であった。引っ

張り歪み量がこの領域を越えると偏波スイッチングは確認されなかった。図41から、偏波スイッチングを確認した時のTEモード利得とTMモード利得の差が3[dB]以内であることがわかる。つまり、TEモードとTMモードの利得差が3[dB]程度であれば、電極から注入する電流量の変化によりTEモードとTMモードの間で発振モードを切り変えることが可能である。

【0218】このような構成を有した本実施例のレーザの駆動方法、スイッチング動作については第1実施例の所で説明したものと同一である。

【0219】本実施例では、まず各々の引っ張り歪み井戸がTEモード利得とTMモード利得をほぼ均等に発生することを条件とし、加えて活性層に使用する井戸の歪み量を変えることにより、利得が発生する波長を異ならせ、広波長帯域でのTEモード利得とTMモード利得の均衡、確保を実現したものである。それぞれの波長域の利得は各々の井戸において拮抗しているため、安定したスイッチングが実現できる。

【0220】以上の様に、引っ張り歪みの活性領域において、TEモードとTMモードの利得発生割合がほぼ均一の井戸を用い、これら井戸の歪み量をわずかに変化させることにより、TEモードとTMモードの利得が広波長帯域においてほぼ均一な半導体レーザを実現することが出来た。本構成でも、活性層におけるTEモードとTMモードの利得差が小さく、広帯域において両モードの利得が均衡していて安定な為に、安定にTEモードとTMモード間でスイッチングするレーザが作製できる。

【0221】第22実施例

図42を用いて本発明の第22の実施例について説明する。全体構成の様子は図4の第2実施例と同じである。但し、基板であるところのP-InP膜31の上にはピッチ238.3nmで高さ400Åの回折格子を形成している。

【0222】図42を用いて活性層の構成について説明する。この実施例の特徴は、利得の均衡した波長領域の拡大を、歪み量の変化によるものではなく、井戸幅の変化により実現した点にある。図42中、1452に示した矢印は積層方向を示している。1432はBeがドーピングされた光ガイド層領域であり、図4中では層32に相当する。活性層の構成は、1432に示した光ガイド層上に、まず、1441に示すアンドープInGaAsによる井戸を110Å成長している。ここの井戸は引っ張り歪みを入れており、歪み量は0.6%である。続いて、1444に示したバリア層を形成する。この層1444はノンドープInGaAsPにより構成されており、膜厚は80Åである。歪み量は圧縮歪みを0.2%を加えている。この上に、1442に示す井戸を積層する。この井戸1442はノンドープInGaAsにより構成されており、膜厚は120Åである。引っ張り歪み量は0.6%である。続いてバリア層を80Å形成して

いる。構成は1444に示したものと同一である。この上に、1443に示すノンドープInGaAsの井戸を130Å形成する。引っ張り歪み量は同じく0.6%である。

【0223】以上の様に、1441、1442、1443に示した井戸の歪み量(0.6%)は同じで井戸幅(110Å、120Å、130Å)を変化させることにより、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する。よって、それぞれの井戸1441、1442、1443による利得のある波長領域が適当にずれて重なり合い、TEモード、TMモードとも広波長帯域にてほぼ均一な利得を得ることが可能となる。ここで用いた井戸により、TEモード、TMモードとも1510nmから1550nmに渡りほぼ均一な利得が確保できる様になった。本実施例でも、引っ張り歪みの井戸数は3層としているが、井戸数はこれに限るものではない。井戸幅の異なる井戸が存在すれば、つまり2層以上から本実施例は適用できる。

【0224】以上説明した様に、引っ張り歪み量を一定として、井戸幅を変えることにより、TMモードとTEモードの利得がほぼ均一な波長範囲が設定でき、広帯域においてほぼ均一な利得を持つ半導体レーザを実現することが出来た。本実施例においても、P基板を用いた例を示したが、後述する実施例に示す様にN基板を用いてもよい。動作は第21実施例の動作と実質的に同一である。

【0225】第23実施例

図43、図44を用いて本発明の第23の実施例を示す。本実施例は、TEモードとTMモードの利得が拮抗する様にバンドギャップと井戸幅を制御すると共に、井戸をバンドギャップの広い順にP側からN側に並べた点と、作りつけた導波路の伝搬定数を制御し位相制御によりTEモード/TMモードの切り換えを実現したことが特徴である。

【0226】レーザの全体構成は図7に示すものと同じである。但し、基板であるところのN-InP膜61の上にはピッチ237nmで高さ300Åの回折格子を部分的に形成している。

【0227】半導体レーザを上面から見たストライプ幅については、電極69、71に対応した領域のレーザストライプ幅D2は1.5μmと狭く、電極70に対応した領域のストライプ幅D1は3.0μmと広くした。

【0228】図43を用いて、63の活性層構成について記述する。基本的考えは、TEモードとTMモードの利得が拮抗している引っ張り歪み量を用いて、井戸幅による制御と歪み量による制御を区別することなく、単に井戸のバンドギャップの違いにより積層順を変えていくことを前提としている。拡散長が短いキャリアが注入される側にバンドギャップの広い井戸を形成し、順次バンドギャップの狭い井戸を形成する構成である。

【0229】図43において、1486は積層方向を示している。1462は下部光ガイド層で、SiドープInGaAsPにより構成されている。キャリア濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ で、厚みは0.2μmである。この上に積層される井戸を順次述べる。1476はノンドープInGaAs井戸で幅は110Åであり、引っ張り歪みが0.75%入っている。1478はバリア層であり、ノンドープInGaAsPを100Å積層している。歪み量は0.0%(無歪み)である。1477は110Å幅のノンドープInGaAs井戸であり、0.7%の引っ張り歪みが入っている。この後、1478と同様のバリアを積層する。1481は引っ張り歪みのノンドープInGaAs井戸で、膜厚は130Åであり歪み量は0.7%である。1478はバリア層である。1482は、130Å幅の引っ張り歪みノンドープInGaAs井戸であり、歪み量は0.6%である。1464はBeドープInGaAsPの上部光ガイド層で、幅は0.2μmである。以上が活性層領域の構成である。

【0230】拡散距離の短いホール側、つまりP型光ガイド層1464側にバンドギャップの広い井戸を形成し、N側に行くに従い狭くしている。バンドギャップの広い井戸を拡散長の短いキャリアの導電層側に寄せた理由は、バンドギャップが広くなるに従い利得は飽和現象を起こしやすくなるからである。飽和しにくいバンドギャップの狭い井戸に優先的にキャリアを供給すると、バンドギャップの狭い井戸の利得が増大し、広い井戸の利得がこれに追いつくことは困難である。広範囲の波長領域でTEモードおよびTMモードにおいて利得をほぼ均一にする為には、バンドギャップの広い井戸での利得を優先的に確保しておくことが必要である。よって、拡散長の短いキャリア側にバンドギャップの広い井戸を寄せることが必要となる。尚、ここの活性層の構成では歪み井戸を4層としている。しかし、上述した様に、本実施例においても、活性層の井戸数は基本的に制限されることはない。ただし、臨界膜厚等において物理的な限界は存在する。同様に各井戸の厚みも制限されるものではなく、必要とされる発光波長に一致するように膜厚を制御するものである。ただし、前記した様に臨界膜厚による物理的制限は存在する。

【0231】図44は、以上の井戸を用いたレーザにおけるTEモードおよびTMモードの利得分布である。引っ張り歪みの井戸を4層にし、井戸の歪み量を0.75%から0.6%まで、井戸幅を11nmから13nmまで変えたことにより、利得波長帯域は長波長側に伸び、1500nmから1550nmまで広がった。利得の均一化が図れない場合には、利得が不足している波長帯域の井戸を増やせばよい。その場合でも、井戸層のバンドギャップはP側からN側に行くに従い狭くなっていることが好適である。

【0232】この様な構成を有したレーザの駆動方法、

スイッチング動作については、図 7 に示した第 3 実施例と同じである。本構成でも、活性層における TE モード、TM モードの利得差が小さく、広帯域において安定な為に、安定に TE モード / TM モードスイッチングレーザが作製できる。

【 0 2 3 3 】 第 2 4 実施例

図 4 5 を用いて本発明の第 2 4 の実施例について説明する。全体構成の共振方向断面は図 1 0 に示すものと同じである。

【 0 2 3 4 】 図 4 5 を用いて活性層 1 1 3 の構成について説明する。この実施例の特徴は、活性層に P 型不純物をドーピングした点にある。図 4 5 中、1 5 2 1 に示した矢印は積層方向を示している。1 1 2 は Si がドーピングされた光ガイド層領域である。活性層の構成は、まず、1 5 2 2 に示す 0. 7 % の引っ張り歪みを入れたノンドープ InGaAs を 1 2 nm 形成する。1 5 2 5 は Be ドープ InGaAsP を用いているバリア層であり、歪みは入れていない。厚みは 1 0 0 Å である。続いて、0. 6 5 % の引っ張り歪みを入れた 1 5 2 3 のノンドープ InGaAsP 井戸層を 1 2 nm 形成する。次のバリア層は前のバリア層 1 5 2 5 と変わらない Be ドープ InGaAsP を用いており、歪みは入れていない。続いて、1 5 2 4 の 0. 6 % の引っ張り歪みを持ったノンドープ InGaAsP 井戸層を 1 2 nm 積層している。以上が活性層領域 1 1 3 の構成である。

【 0 2 3 5 】 以上の様に、1 5 2 2、1 5 2 3、1 5 2 4 に示した井戸の歪み量 (0. 7 %、0. 6 5 %、0. 6 %) を変化させることにより、各井戸のバンドギャップが異なり発光波長が変化する。よって、それぞれの井戸による利得の波長域が適当にずれて重なり合い、広波長帯域にて TE、TM モード共にほぼ均一な利得を得ることが可能となる。図 4 6 は、利得分布を示したものである。ここで用いた井戸 1 5 2 2、1 5 2 3、1 5 2 4 により、TE、TM モード共に利得がほぼ均一な領域は約 1 5 3 0 nm から 1 5 7 0 nm と広帯域に渡ることが分かる。

【 0 2 3 6 】 図 4 5 において、活性層 1 1 3 のバリア 1 5 2 5 に P 型ドーピングした理由はしきい電流密度を下げることにある。また、P 型をドーピングすることにより、より拡散の広い電子を利用して活性層 1 1 3 の利得の均一化を図ることを目的としている。この結果、低電流領域での発振具合と電子の拡散が良い為に、低電流領域での TE モードと TM モード間でのスイッチングが可能となった。図 4 5 においてバンドギャップの広い (引っ張り歪み量の大きい) 井戸を N 導電型寄りに配置した理由は、これまで述べてきた様に、バンドギャップの広い井戸に少数キャリア (この場合は電子) を優先的に供給することにより、広波長帯域での利得の均一化を図るものである。仮に、しきい値付近において TE モード利得および TM モード利得が均衡しない場合は、不足して

いる波長付近の井戸層を増加し、利得の改善を図ればよい。また、ここで P 型のドーピングをバリア層のみに行なったが、井戸に行なってもよい。

【 0 2 3 7 】 本実施例の動作は上記の実施例と同様である。また、本実施例においても、活性層より下にグレーティングが存在したが、活性層の上にあってもよい。以上説明した様に、利得の均衡した帯域を広くする為、井戸のバンドギャップ (歪み量及び / または井戸幅を変えて行なっている) を変え、P 型をドーピングした活性層を用いることにより、TM モードおよび TE モードの利得均衡範囲をより自由に設定し、広帯域において両モードともほぼ均一な利得を持つ半導体レーザを実現することが出来た。

【 0 2 3 8 】 上記の活性層を共通活性層としてアレーレーザに適用することもできる。複数のレーザが横方向に並んだアレーレーザの周期は 6 0 0 μ m である。ここで各アレーのグレーティングピッチを変えており、各レーザの発振波長間隔は 1 nm としている。各レーザのグレーティングピッチは、2 4 0. 6 5 nm から 2 4 2. 2 1 nm まで 0. 1 5 nm 間隔で形成している。こうして図 4 6 の 1 5 4 7 に示すように 8 波の異なる波長で発振する様に構成した。

【 0 2 3 9 】 第 2 1 乃至第 2 4 の実施例では、適当な引っ張り歪みを井戸に入れば TE モードの利得と TM モードの利得が均衡するという事実に基づいて、活性層を引っ張り歪みを入れた井戸のみで構成していたが、必要であれば無歪みまたは圧縮歪みを入れた井戸を含ませてもよい。その数、積層箇所、歪みの程度などに応じた並べ方等は目的に応じて決めればよい。この場合でも、その特徴、動作原理は上記の実施例と実質的に同じである。

【 0 2 4 0 】 第 2 5 実施例

偏波変調が可能な半導体レーザの使用方法としては、僅かな変調電流で発振光の偏波状態が変わることを利用して、レーザの前に偏光子を置き、偏光子を通して強度変調の光通信信号を得るものがある。この場合、TE モードを選ぶか TM モードを選択するかは自由である。特開平 2 - 1 5 9 7 8 1 号には、直接偏波変調方式が有望な方法の一つとして提案されている。

【 0 2 4 1 】 図 4 7、図 4 8、図 4 9 を用いて本発明の偏波変調レーザの応用を具体的に記述する。図 4 7 に、本発明による半導体レーザを波長多重光 LAN システムに応用する場合の各端末に接続される光 - 電気変換部 (ノード) の構成例を示し、図 4 8 にそのノード 2 2 8 1 を用いた光 LAN システムの構成例を示す。

【 0 2 4 2 】 外部に接続された光ファイバ 2 2 8 0 を媒体として光信号がノード 2 2 8 1 に取り込まれ、分岐部 2 2 7 2 によりその一部が波長可変光フィルタ等を備えた受信装置 2 2 7 3 に入射する。この受信装置 2 2 7 3 により所望の波長の光信号だけ取り出して信号検波を行

う。一方、ノード 2 2 8 1 から光信号を送信する場合には、上記実施例の半導体レーザ装置 2 2 7 4 を適当な方法で駆動し、偏波変調して、偏光板 2 2 7 7 及びアイソレータ 2 2 7 5 を通して出力光を合流部 2 2 7 6 を介して光伝送路 2 2 8 0 に入射せしめる。半導体レーザ装置 2 2 7 4 には、図 1 2 のアレーレーザ 1 4 0 を用いれば各レーザを固定波長で使用すればよいし、他の実施例の半導体レーザを用いれば、バイアス電流比を適当に制御してこれを波長可変レーザとして用いればよい。ここで、半導体レーザ装置 2 2 7 4 の半導体レーザ及び受信装置 2 2 7 3 の波長可変光フィルタを 2 つ以上の複数設けて、波長可変範囲を広げることができる。

【0 2 4 3】光 LAN システムのネットワークとして、図 4 8 に示すものはバス型であり、A および B の方向にノード 2 2 8 1 を接続しネットワーク化された多数の端末及びセンタ 2 2 8 2 を設置することができる。ただし、多数のノード 2 2 8 1 を接続するためには、光の減衰を補償するために光増幅器（ここに本発明の光半導体デバイスを偏波依存性の小さい光増幅器として用いてもよい）を伝送路 2 2 8 0 上に直列に配することが必要となる。また、各端末 2 2 8 2 にノード 2 2 8 1 を 2 つ接続し伝送路 2 2 8 0 を 2 本にすることで D Q D B 方式による双方向の伝送が可能となる。また、ネットワークの方式として、図 4 8 の A と B をつなげたループ型やスター型あるいはそれらを複合した形態のものでもよい。

【0 2 4 4】図 4 9 は、本発明の半導体レーザを用いた双方向光 C A T V システムの構成例を示す模式図である。図 4 9 において、2 2 9 0 は C A T V センタ、2 2 9 2 は夫々光ファイバ 2 2 9 1 によってセンタ 2 2 9 0 と接続されたサブセンタ、2 2 9 3 はサブセンタに接続された各加入者の受像機である。センタ 2 2 9 0 は、本発明の光半導体デバイスの光源装置を備え、複数の画像信号を夫々波長の異なる信号光に載せて、受像機 2 2 9 3 に送信する。受像機 2 2 9 3 は、波長可変光フィルタ及び光検出器を含み、入射した信号光の内、所望の波長の信号光だけを検出して、モニタに画像を再生する。加入者は、波長可変光フィルタの透過波長を変化させることによって、チャンネルを選択し、所望の画像を得ることが出来る。

【0 2 4 5】従来は、送信側の D F B レーザの動的波長変動の影響により、受信側の D F B フィルタをこのようなシステムに用いることが困難であったが、本発明により可能となった。

【0 2 4 6】さらに、加入者に外部変調器を持たせ、加入者からの信号をこの変調器からの反射光で受け取り（簡易型双方向光 C A T V の一形態、例えば、石川、古田“光 C A T V 加入者系における双方向伝送用 L N 外部変調器”，O C S 9 1 - 8 2，p. 5 1）、図 4 9 のようなスター型ネットワークを構築することで、双方向光 C A T V が可能となり、サービスの高機能化が図れ

る。

【0 2 4 7】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、比較的成長回数が少なく、低しきい電流密度のレーザ等の光半導体デバイスを実現できると共に、T E モード利得と T M モード利得の均衡した波長帯域を広げる活性層構成を持った光半導体デバイスを実現できる。

【0 2 4 8】より詳細には、本発明の第 1 の実施例によれば、引っ張り歪み井戸の井戸幅を変えることで井戸のバンドギャップを変化させ、幅の狭い井戸程（すなわち、バンドギャップの広い井戸程）P 側に近い様に形成する構成により、広波長帯域にて T E モードと T M モードの利得がほぼ均一な活性層が得られ、グレーティングの設定ずれ等を気にすることなく、再現性の向上した T M モード / T E モードスイッチングレーザなどの光半導体デバイスが作製できた。

【0 2 4 9】また、本発明の第 2 の実施例によれば、圧縮又は無歪みの井戸の井戸幅をも変えることにより、T M モードと T E モードの利得のほぼ均一な波長領域を独立に広帯域化でき、グレーティングの設定ずれ等を気にすることなく、再現性の向上した T M モード / T E モードスイッチングレーザなどの光半導体デバイスが作製できた。

【0 2 5 0】また、本発明の第 3 の実施例によれば、歪みの種類に関係なく、井戸幅の狭い井戸程少数キャリアの極性側に近付けることにより、より安定して T E モードと T M モードの利得がほぼ均一な波長領域を形成することができた。更に、各領域の伝搬定数を初期的（すなわち初めから構造的に）に変えることにより動作時の電流制御をあまり細かく調整する必要がなくなり、再現性の向上した T M モード / T E モードスイッチングレーザなどの光半導体デバイスが作製できた。

【0 2 5 1】また、本発明の第 4 の実施例によれば、活性層に P 型ドーピングをすることにより、電子を制御キャリアにし、より低いしきい電流密度で制御できる構成を実現すると共に T E モードと T M モードの利得がほぼ均一な波長領域を形成することができた。また、T E モードと T M モードの利得がほぼ均一な領域の広帯域化により、アレーレーザを構築するにおいても有効な構成である。

【0 2 5 2】また、本発明の第 5 の実施例によれば、障壁層の高さすなわちそのエネルギーギャップの広さを制御することにより、活性領域へのより均一なキャリアの供給が実現できた。

【0 2 5 3】また、本発明の第 6 の実施例によれば、障壁層の幅を制御することにより、同じく活性領域へのより均一なキャリアの供給が実現できた。

【0 2 5 4】尚、第 1 乃至第 6 の実施例の構成は、基板上の活性領域が、少なくとも 1 つの圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸層と、少なくとも 1 つの引っ張り歪み量子

井戸層とが積層されて形成され、圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸層と引っ張り歪み量子井戸層のうちの少なくとも一方が、互いに井戸幅の異なることで井戸のバンドギャップを変化させた複数の量子井戸層を含むことを特徴とし、これにより比較的広い波長帯域にてTEモードとTMモードの利得が均衡してほぼ均一になる様にしている。

【0255】更に、本発明の第7の実施例によれば、引っ張り歪みの井戸の歪み量を変え、歪み量により変化するバンドギャップの大きな井戸程P側に近い様に形成する構成により、広波長帯域にてTEモードとTMモードの利得がほぼ均一な活性層が得られ、グレーティングの設定ずれ等を気にすることなく、再現性の向上したTMモード/TEモードスイッチングレーザなどの光半導体デバイスが作製できた。

【0256】また、本発明の第8の実施例によれば、圧縮又は無歪みの井戸も歪み量を変えることにより、TMモードとTEモードの利得のほぼ均一な波長領域を独立に広帯域化でき、グレーティングの設定ずれ等を気にすることなく、再現性の向上したTMモード/TEモードスイッチングレーザなどの光半導体デバイスが作製できた。

【0257】また、本発明の第9の実施例によれば、歪みの種類に関係なく、バンドギャップの広い井戸程少数キャリアの極性側に近付けることにより、より安定してTEモードとTMモードの利得がほぼ均一な波長領域を形成することができた。更に、位相制御すること、すなわち、各領域の伝搬定数を初期的に変えることにより、再現性の向上したTMモード/TEモードスイッチングレーザなどの光半導体デバイスが作製できた。

【0258】また、本発明の第10の実施例によれば、活性層にP型ドーピングをすることにより、電子を制御キャリアにし、より低いしきい電流密度で制御できる構成を実現すると共にTEモードとTMモードの利得がほぼ均一な波長領域を形成することができた。また、これは、TEモードとTMモードの利得がほぼ均一な領域の広帯域化により、アレーレーザにおいても有効な構成である。

【0259】また、本発明の第11の実施例によれば、障壁層の高さすなわちそのエネルギーバンドギャップの広さを制御することにより、活性領域へのより均一なキャリアの供給が実現できた。

【0260】また、本発明の第12の実施例によれば、障壁層の幅を制御することにより、同じく活性領域へのより均一なキャリアの供給が実現できた。

【0261】尚、第7乃至第12の実施例の構成は、基板上の活性領域が、少なくとも1つの圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸層と、少なくとも1つの引っ張り歪み量子井戸層とが積層されて形成され、圧縮歪みまたは無歪みの量子井戸層と引っ張り歪み量子井戸層のうちの少な

くとも一方が、互いに歪み量の異なることで井戸のバンドギャップを変化させた複数の量子井戸層を含むことを特徴とし、これにより比較的広い波長帯域にてTEモードとTMモードの利得が均衡してほぼ均一になる様にしている。

【0262】更に、本発明の第13の実施例によれば、圧縮歪みまたは無歪みの活性層と引っ張り歪みが入った活性層が積層形成されて成る活性領域において、圧縮歪みまたは無歪みの活性層と引っ張り歪みの活性層の少なくとも一方が異なる井戸幅を持つ複数の井戸を含んでおり、この井戸の中で最も井戸幅の狭い井戸がP側にあり、続いてこの井戸に隣接して最も広い井戸幅を有した井戸を形成した構成により、利得が得にくい利得領域の最も短波長側と長波長側の利得を優先的に得ることが可能となり、TEモード利得とTMモード利得の広い波長範囲での均衡化と均一化が図れた。

【0263】また、本発明の第14の実施例によれば、圧縮歪みまたは無歪みの活性層と引っ張り歪みが入った活性層が積層形成されて成る活性領域において、圧縮歪みまたは無歪みの活性層および引っ張り歪みの活性層の両方の活性層が異なる井戸幅を持つ井戸を含んでおり、それぞれの領域においてこの井戸の中で最も幅の狭い井戸がP側にあり、続いてこの井戸に隣接して最も広い幅の井戸を形成することにより、より柔軟にTEモード利得とTMモード利得の広い波長範囲での均衡化と均一化を図ることができた。

【0264】本発明の第15の実施例によれば、圧縮歪みまたは無歪みの活性層と引っ張り歪みが入った活性層が積層形成されており、これら活性領域の一部または全体にP型の不純物がドーピングされている活性層において、圧縮歪みまたは無歪みか、引っ張り歪みのどちらかの活性層が異なる井戸幅を持つ井戸を有しており、この井戸の中で最も狭い井戸がN側にあり、続いてこの井戸に隣接して最も広い幅を有した井戸が形成されている活性層構造を含んだ半導体レーザの構造を実現することにより、電子を制御キャリアとして、より低いしきい電流密度で制御できる偏波変調レーザ等を実現することができた。

【0265】尚、第13乃至第15の実施例の構成は、少なくとも1つの圧縮歪みまたは無歪みの活性層と少なくとも1つの引っ張り歪みが入った活性層が積層形成されて成る活性領域を有する光半導体デバイスであって、引っ張り歪みの活性層及び圧縮歪みまたは無歪みの活性層の少なくとも一方の活性層が、互いに幅の異なることで井戸のバンドギャップを変化させた複数の量子井戸層を有しており、これらの井戸の中で最も狭い井戸が少数キャリア供給側にあり、続いてこの井戸に隣接して最も広い幅を有した井戸が形成されていることを特徴とし、これにより比較的広い波長帯域にてTEモードとTMモードの利得が均衡してほぼ均一になる様にしている。

【0266】また、本発明の第16の実施例によれば、圧縮歪みまたは無歪みの活性層と引っ張り歪みが入った活性層が積層形成されて成る活性領域において、引っ張り歪みの井戸の歪み量を変え、歪み量により変化するバンドギャップの大きな井戸と最も狭い井戸をP側に形成した構成により、利得が得にくい波長領域の最も短波長側と長波長側の利得を優先的に得ることが可能となり、広波長帯域にてTEモードとTMモードの利得がほぼ均一な活性層が得られ、グレーティングの設定ずれを気にすることなく、再現性の向上したTMモード/TEモードスイッチングレーザ等が作製できた。

【0267】また、本発明の第17の実施例によれば、圧縮歪みまたは無歪みの井戸も歪み量を変えることによりバンドギャップを変化させ、歪み量により変化するバンドギャップの大きな井戸と最も狭い井戸をP側に形成した構成により、TEモードとTMモードの利得のほぼ均一な領域について独立に広波長帯域化が可能となり、グレーティングの設定ずれ等を気にすることなく、再現性の向上したTMモード/TEモードスイッチングレーザ等が作製できた。

【0268】また、本発明の第18の実施例によれば、活性層にP型ドーピングすることにより、電子を制御キャリアにし、より低いしきい電流密度で制御できる構成を実現すると共にTEモードとTMモードの利得がほぼ均一な波長領域を形成することができた。また、これは、TEモードとTMモードの利得がほぼ均一な波長領域の広帯域化により、アレーレーザにおいても有効な構成である。

【0269】また、本発明の第19の実施例によれば、井戸間の障壁層のエネルギーバンドの高さすなわちそのエネルギーギャップの広さを制御することにより、活性領域へのより均一なキャリアの供給が実現できた。

【0270】また、本発明の第20の実施例によれば、障壁層の幅を制御することにより、同じく活性領域へのより均一なキャリアの供給が実現できた。

【0271】尚、第16乃至第20の実施例の構成は、少なくとも1つの圧縮歪みまたは無歪みの活性層と少なくとも1つの引っ張り歪みが入った活性層が積層形成されて成る活性領域を有する光半導体デバイスであって、引っ張り歪みの活性層及び圧縮歪みまたは無歪みの活性層の少なくとも一方の活性層が、互いに歪み量の異なることで井戸のバンドギャップを変化させた複数の量子井戸層を有しており、これらの井戸の中で最もバンドギャップの広い井戸が少数キャリア供給側にあり、続いてこの井戸に隣接して最も狭いバンドギャップを有した井戸が形成されていることを特徴とし、これにより比較的広い波長帯域にてTEモードとTMモードの利得が均衡してほぼ均一になる様にしている。

【0272】また、本発明の第21の実施例によれば、TEモードとTMモードの利得が拮抗した引っ張り歪み

の井戸を用いて僅かに相互の歪み量を異ならせることにより、比較的広い波長帯域にてTEモードとTMモードの利得がほぼ均一な活性層が比較的簡単な構成で得られ、グレーティングピッチなどの設定ずれを気にすることなく、再現性の向上した低しきい電流密度のTMモード/TEモードスイッチングレーザ等が作製できた。

【0273】また、本発明の第22の実施例によれば、複数の引っ張り歪みの井戸の歪み量を一定として井戸幅を変えることにより、TMモードとTEモードの利得が拮抗した波長領域を広帯域化することができ、同じくグレーティングピッチなどの設定ずれを気にすることなく、再現性の向上したTMモード/TEモードスイッチングレーザ等が作製できた。

【0274】また、本発明の第23の実施例によれば、歪み量の変化、井戸幅の変化に関係なく、最もバンドギャップの広い井戸を少数キャリアの極性側に近付けることにより、より安定してTEモードとTMモードの利得がほぼ均一な比較的広い波長領域を形成することができた。更に、各領域の伝搬定数を初期的に変えることにより、位相制御により動作する再現性の向上したTMモード/TEモードスイッチングレーザなどの光半導体デバイスが作製できた。

【0275】また、本発明の第24の実施例によれば、活性層にP型ドーピングをすることにより、電子を制御キャリアにし、より低いしきい電流密度で制御できる構成を実現すると共にTEモードとTMモードの利得がほぼ均一な比較的広い波長領域を形成することができた。また、TEモード、TMモードの利得の均衡する波長領域を広帯域化することにより、アレーレーザにおいて有効な構成とすることができる。

【0276】尚、第21乃至第24の実施例の構成は、複数の引っ張り歪み量子井戸を有する活性層が形成されている半導体デバイスであって、複数の引っ張り歪み量子井戸の少なくとも1つの量子井戸は他の量子井戸とは異なるバンドギャップを有していることを特徴とし、これにより比較的広い波長帯域にてTEモードとTMモードの利得が均衡してほぼ均一になる様にしている。

【0277】また、本発明の第25の実施例によれば、こうした光半導体デバイスを光送信機、光通信システムなどに用いれば、実用的で高品質な装置、システムを比較的簡単に構築できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明の第1の実施例等の共振器方向の構成と第1の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図2】図2は本発明の第1の実施例のTEモードとTMモードの利得スペクトルを示す図である。

【図3】図3は本発明の第1の実施例の動作を説明する図である。

【図4】図4は本発明の第2の実施例等の共振器方向の

構成を示す断面図である。

【図 5】図 5 は本発明の第 2 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 6】図 6 は本発明の第 2 の実施例の TE モードと TM モードの利得スペクトルを示す図である。

【図 7】図 7 は本発明の第 3 の実施例等の共振器方向の断面と上面の構成を示す図である。

【図 8】図 8 は本発明の第 3 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 9】図 9 は本発明の第 3 の実施例の TE モードと T 10 M モードの利得スペクトルを示す図である。

【図 10】図 10 は本発明の第 4 の実施例等の共振器方向の構成を示す断面図である。

【図 11】図 11 は本発明の第 4 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 12】図 12 は本発明の第 4 の実施例等をレーザアレイに適用した構成を示す上面図である。

【図 13】図 13 は本発明の第 4 の実施例の TE モードと TM モードの利得スペクトル及びレーザアレイの TM モードでの発振波長を示す図である。

【図 14】図 14 は本発明の第 5 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 15】図 15 は本発明の第 6 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 16】図 16 は本発明の第 7 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 17】図 17 は本発明の第 1 7 の実施例の TE モードと TM モードの利得スペクトルを示す図である。

【図 18】図 18 は本発明の第 8 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 19】図 19 は本発明の第 9 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 20】図 20 は本発明の第 9 の実施例の TE モードと TM モードの利得スペクトルを示す図である。

【図 21】図 21 は本発明の第 10 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 22】図 22 は本発明の第 10 の実施例の TE モードと TM モードの利得スペクトル及びレーザアレイの TM モードでの発振波長を示す図である。

【図 23】図 23 は本発明の第 11 の実施例の活性層付 40 近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 24】図 24 は本発明の第 12 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 25】図 25 は本発明の第 13 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 26】図 26 は本発明の第 13 の実施例の TE モードと TM モードの利得スペクトルを示す図である。

【図 27】図 27 は本発明の第 14 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 28】図 28 は本発明の第 14 の実施例の TE モー 50

ドと TM モードの利得スペクトルを示す図である。

【図 29】図 29 は本発明の第 15 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 30】図 30 は本発明の第 15 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造及びレーザアレイの TM モードでの発振波長を示す図である。

【図 31】図 31 は本発明の第 16 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 32】図 32 は本発明の第 16 の実施例の TE モードと TM モードの利得スペクトルを示す図である。

【図 33】図 33 は本発明の第 17 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 34】図 34 は本発明の第 17 の実施例の TE モードと TM モードの利得スペクトルを示す図である。

【図 35】図 35 は本発明の第 18 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 36】図 36 は本発明の第 18 の実施例の TE モードと TM モードの利得スペクトル及びレーザアレイの TM モードでの発振波長を示す図である。

20 【図 37】図 37 は本発明の第 19 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 38】図 38 は本発明の第 20 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 39】図 39 は本発明の第 21 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 40】図 40 は本発明の第 21 の実施例の TE モードと TM モードの利得スペクトルを示すグラフ図である。

30 【図 41】図 41 は引っ張り歪み井戸の歪み量及び TE モードと TM モードの強度利得差の関係を示すグラフ図である。

【図 42】図 42 は本発明の第 22 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 43】図 43 は本発明の第 23 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

【図 44】図 44 は本発明の第 23 の実施例の TE モードと TM モードの利得スペクトルを示す図である。

【図 45】図 45 は本発明の第 24 の実施例の活性層付近のバンドギャップ構造を示す図である。

40 【図 46】図 46 は本発明の第 24 の実施例の TE モードと TM モードの利得スペクトル及びレーザアレイの TM モードでの発振波長を示すグラフ図である。

【図 47】図 47 は本発明の第 25 の実施例である本発明の光半導体デバイスを用いたノードの構成例を示す図である。

【図 48】図 48 は図 47 のノードを用いたバス型光通信システムの構成例を示す図である。

【図 49】図 49 は図 47 のノードを用いた双方向光 C A T V システムの構成例を示す図である。

【符号の説明】

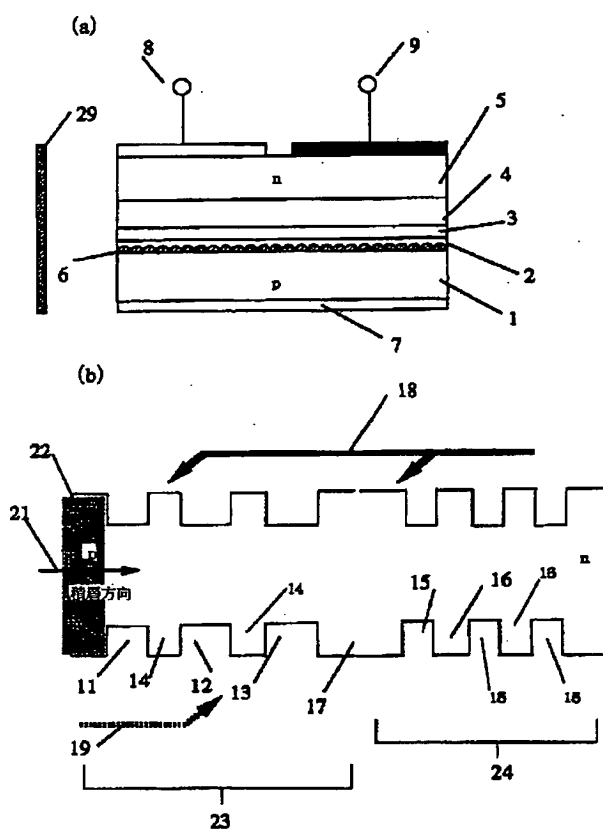
67

68

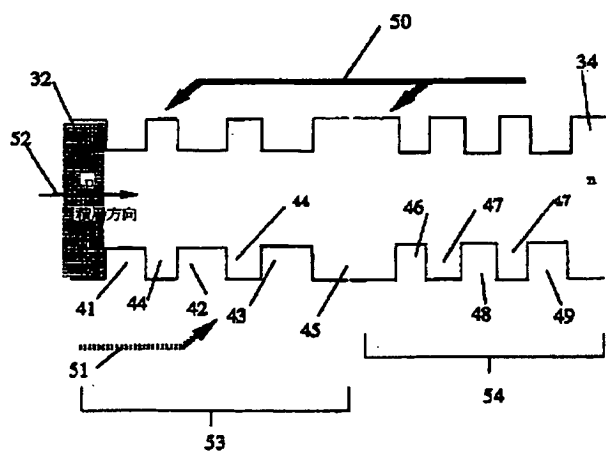
1、31、61、111 基板
 2、22、32、62、112、201、214、22
 1、234、322、501、521、622、63
 2、634、822、832、834、1201、12
 14、1221、1234、1422、1432、14
 62、1464 光ガイド層
 3、33、63、113 活性層
 4、34、35、64、65、114、115、51
 4、534 光ガイド層及びクラッド層
 5、36、66、116 コンタクト層
 6、37、67、117 回折格子
 7、8、9、38、39、40、68、69、70、7
 1、118、119、120 電極
 11、12、13、41、42、43、75、76、7
 9、126、128、129、203、205、20
 7、223、225、227、311、312、31
 3、341、342、343、375、376、37
 9、426、428、429、503、505、50
 7、523、525、527、611、612、61
 3、641、642、643、726、728、72
 9、811、812、813、841、842、84
 3、926、928、929、1203、1205、1
 207、1223、1225、1227、1411、1
 412、1413、1441、1442、1443、1
 476、1477、1481、1482、1522、
 1523、1524 引っ張り歪み井戸
 14、16、44、47、78、80、204、20
 6、210、212、224、226、230、23
 2、314、316、344、347、378、38
 0、504、506、510、512、524、52
 6、530、532、614、616、644、64
 7、722、727、814、816、844、84
 7、922、927、1204、1206、1210、
 1212、1224、1226、1230、1232、
 1414、1444、1478、1525 バリア
 15、77、81、82、83、315、377、38
 1、382、383 無歪み井戸
 17、45、125、208、228、317、34
 5、425、508、528、617、645、72
 5、817、845、925、1208、1228 2つ 40
 の領域の間のバリア
 18、50、85、130、217、235、318、
 350、385、430、517、535、618、6
 50、730、818、850、930、1217、1
 235 電子

19、51、84、131、218、236、319、
 351、384、431、518、536、619、6
 51、731、819、851、931、1218、1
 236 ホール
 21、52、86、132、202、222、321、
 352、386、432、502、522、621、6
 52、732、821、852、932、1202、1
 222、1421、1452、1486、1521
 積層方向
 10 23、53、134、215、237、323、35
 3、434、515、537、623、653、73
 4、823、853、934、1215、1237 引っ
 張り歪み活性領域
 24、324、624、654、733、824、85
 4、933、1216、1238 無歪みまたは圧縮
 歪み活性領域
 29、2277 偏光子
 46、48、49、121、123、124、209、
 211、213、229、231、233、346、3
 20 48、349、421、423、424、509、51
 1、513、529、531、533 圧縮歪み井戸
 54、133、216、238、354、433、51
 6、538 圧縮歪み活性領域
 72 低反射コート
 93～96、193～196 ストップバンド
 122、127、422、427、722、727、9
 22、925、927 ドーピングされたバリア
 140 アレーレーザ
 141 ストライプ
 30 615、646、648、649、721、723、7
 24、815、846、848、849、921、92
 3、924、1209、1211、1213、122
 9、1231、1233 無歪み井戸または圧縮歪み
 井戸
 2280、2291 光伝送路
 2281 ノード
 2272 光分岐部
 2273 受信器
 2274 本発明の光半導体デバイス
 2275 アイソレータ
 2276 合流部
 2282 端末装置
 2290 センタ
 2292 サブセンタ
 2293 受像機

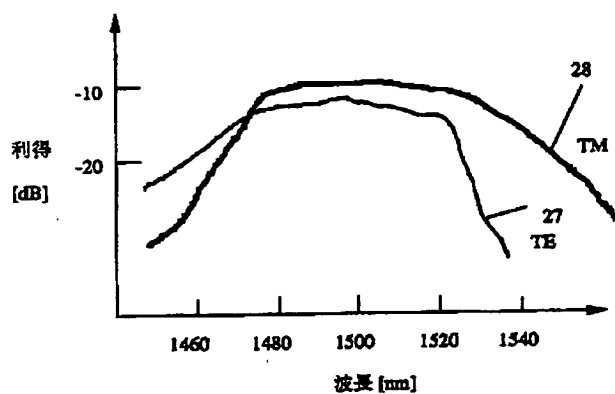
【図 1】



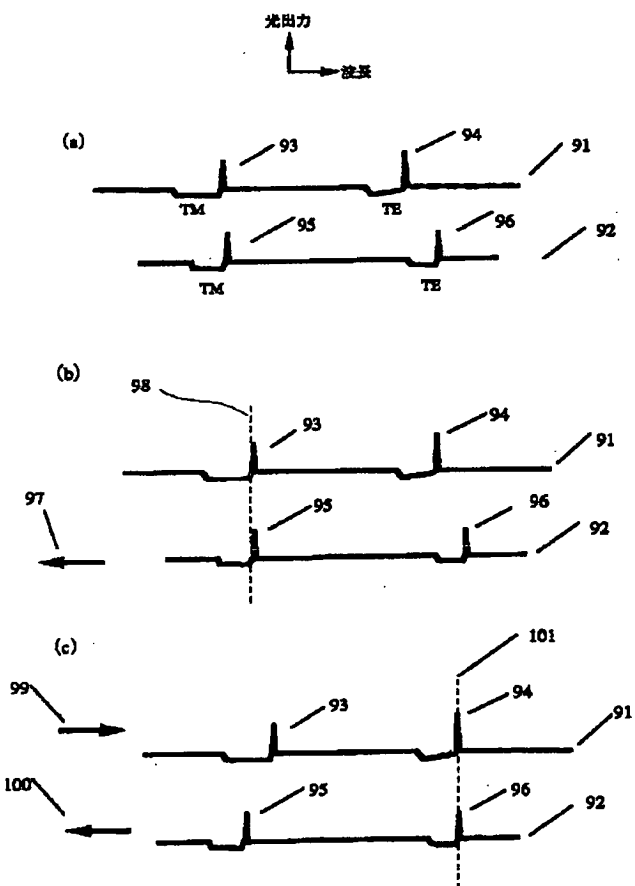
【图 5】



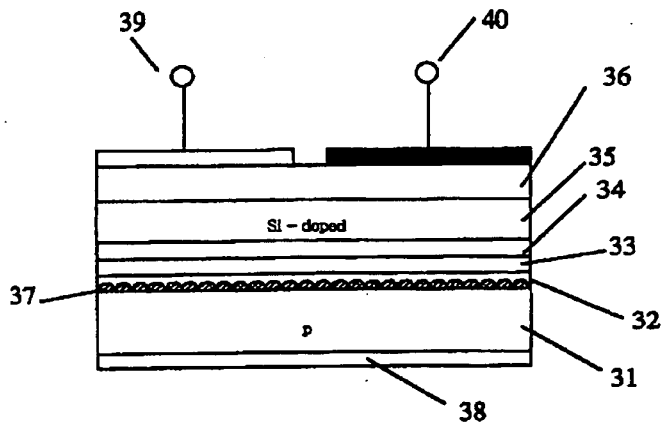
【图 2】



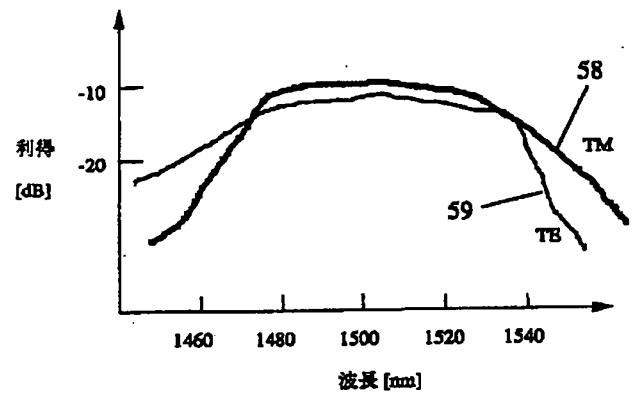
【图 3】



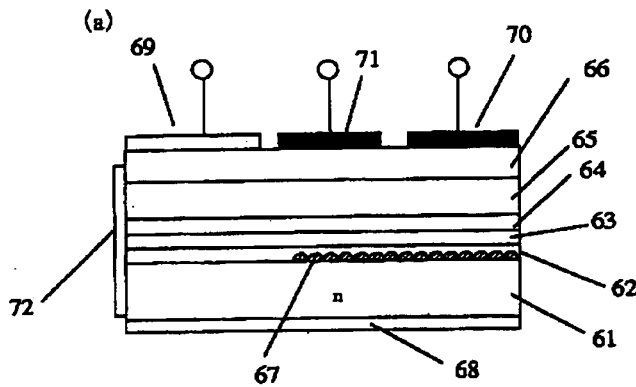
【図 4】



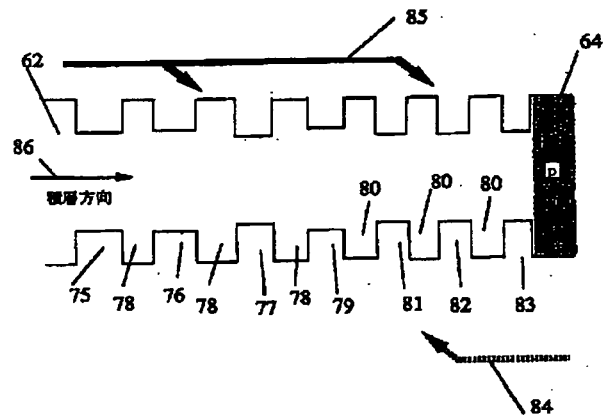
【図 6】



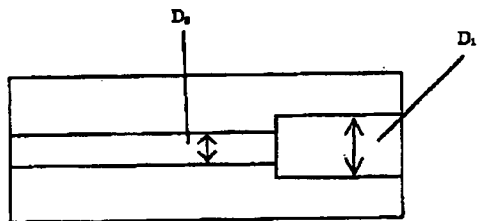
【図 7】



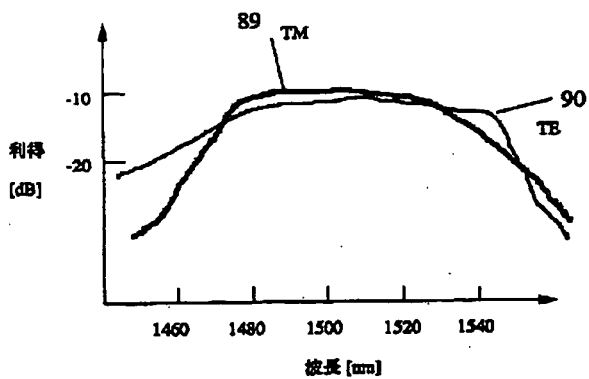
【図 8】



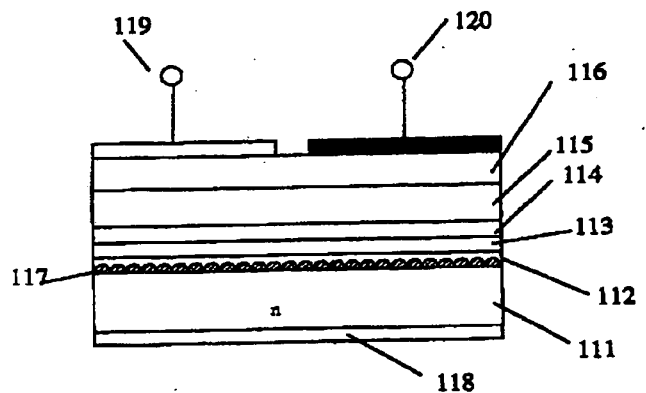
(b)



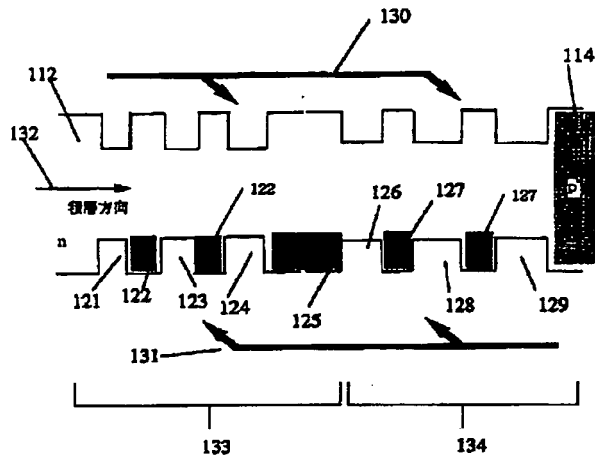
【図 9】



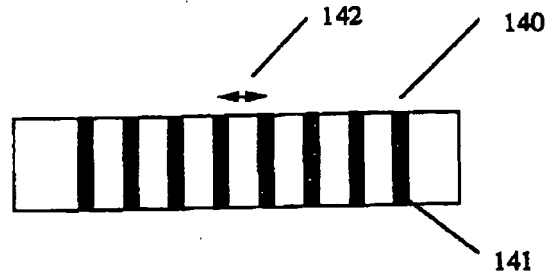
【図 10】



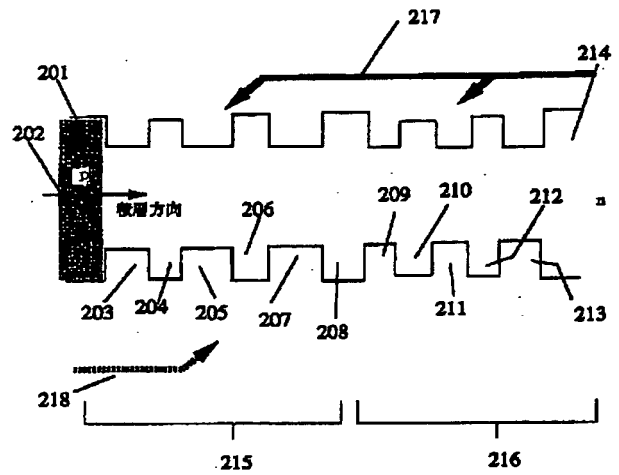
【図 1 1】



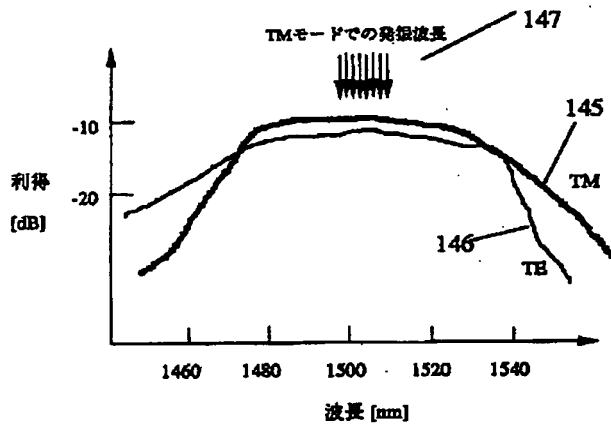
【図 1 2】



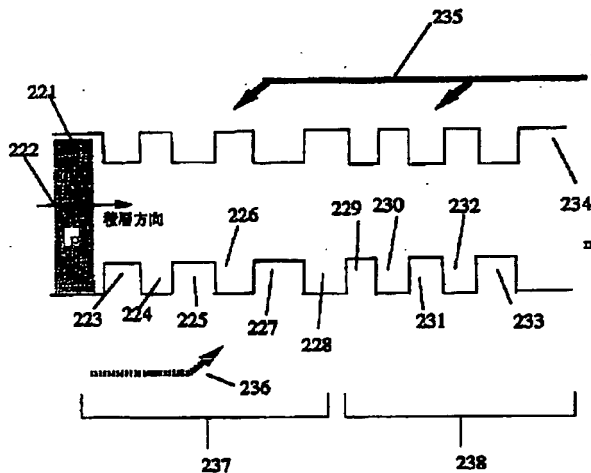
【図 1 4】



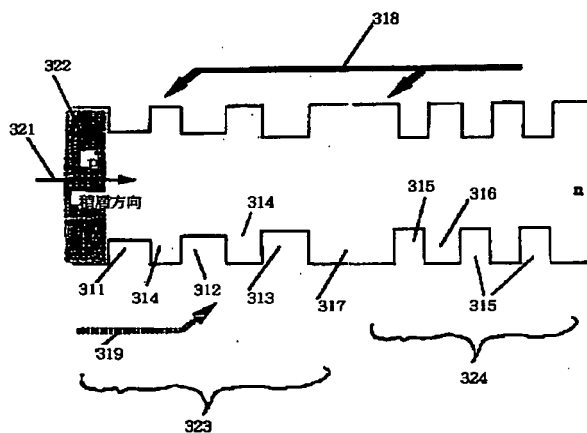
【図 1 3】



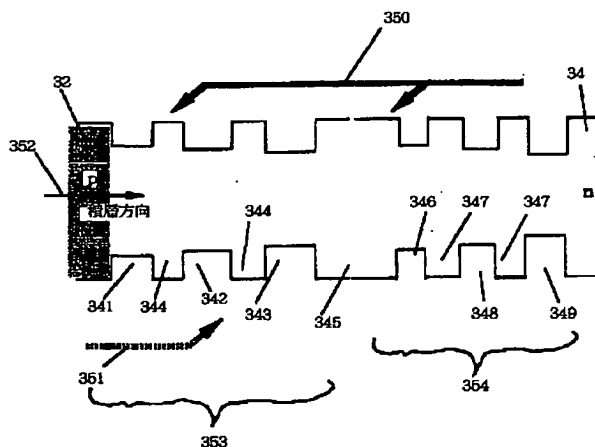
【図 1 5】



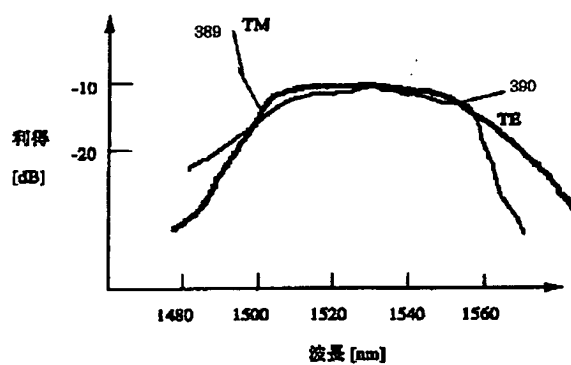
【図 1 6】



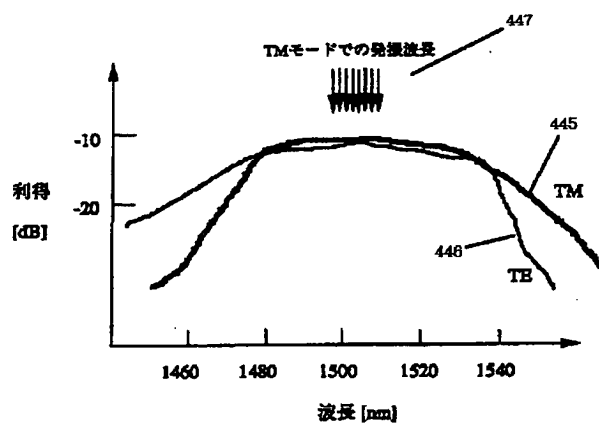
【图 18】



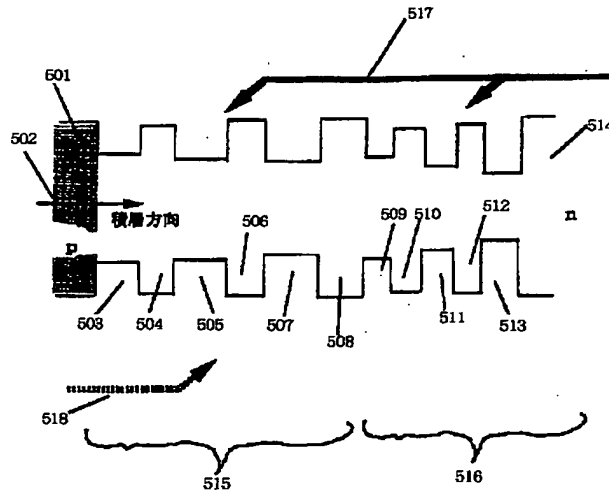
【図 20】



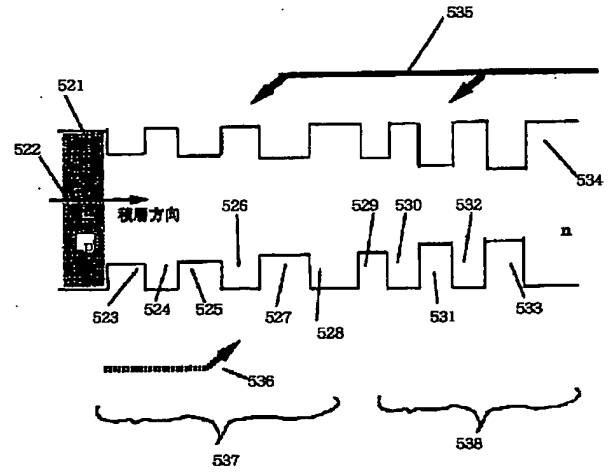
【図 2 1】



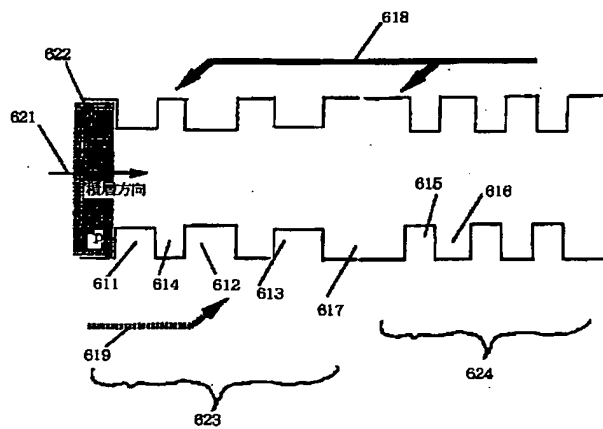
【図 2 3】



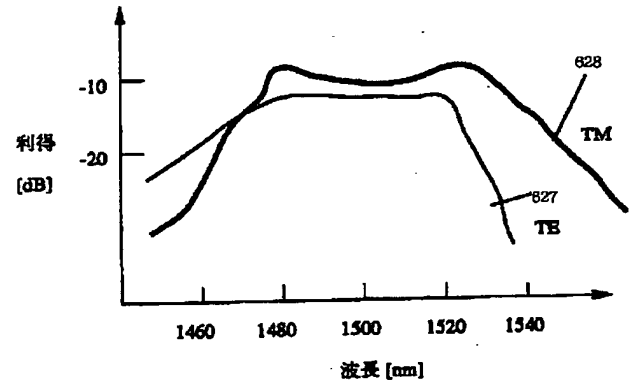
【図 2 4】



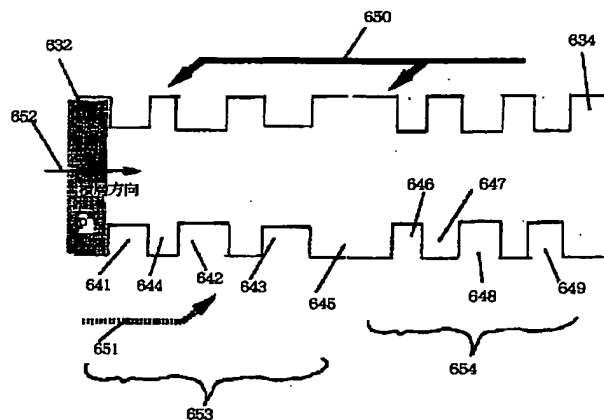
【図 2 5】



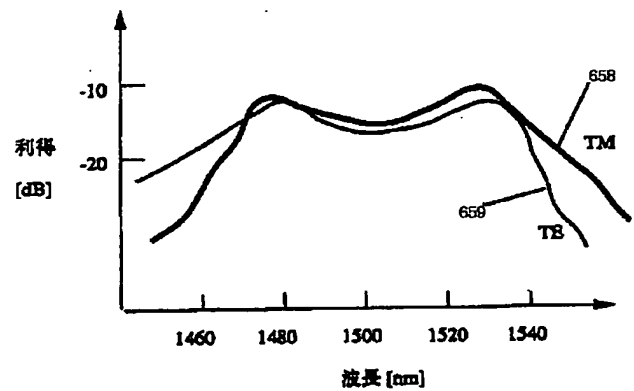
【図 2 6】



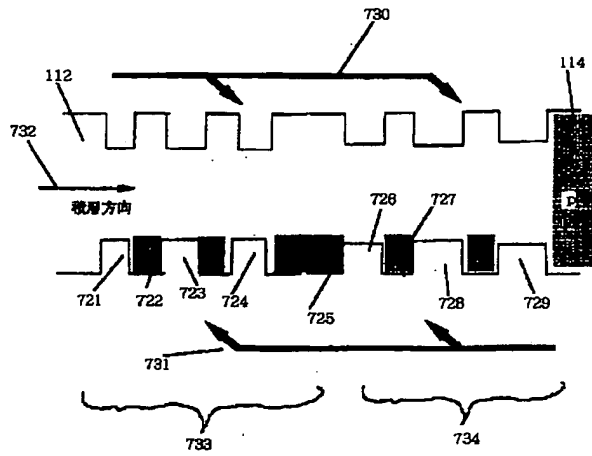
【図 2 7】



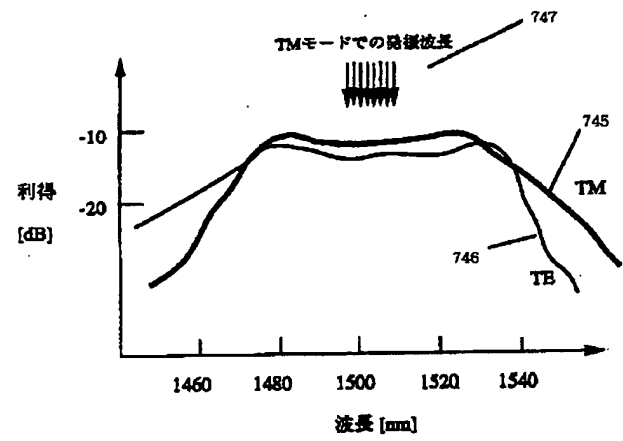
【図 2 8】



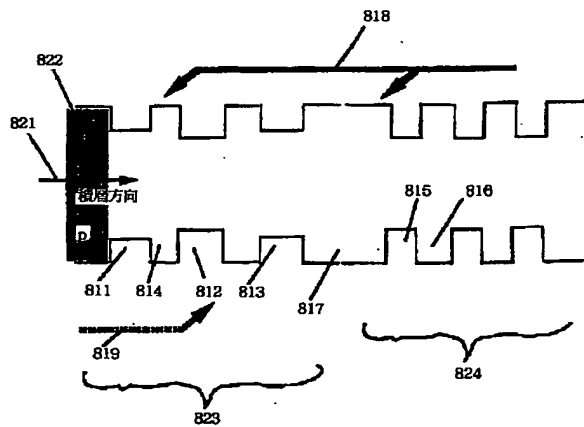
【図 29】



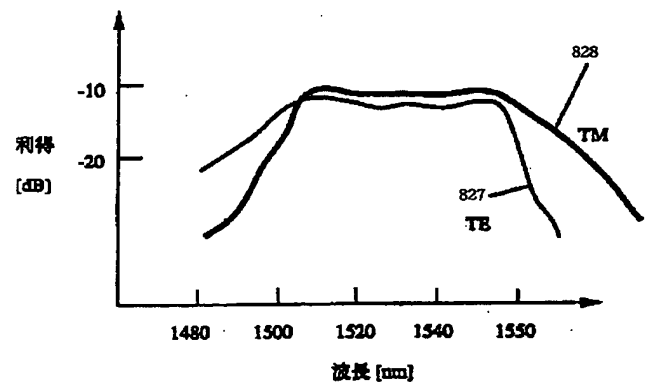
【図 30】



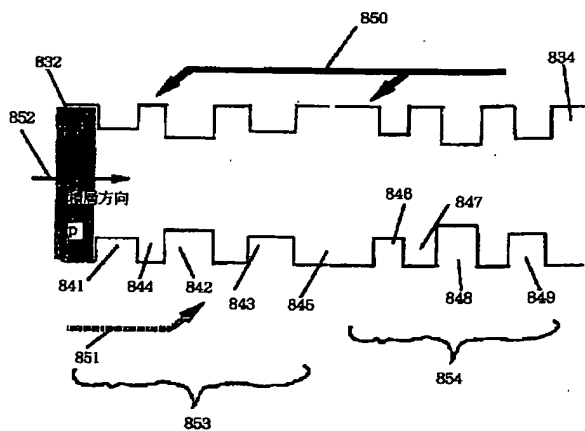
【図 31】



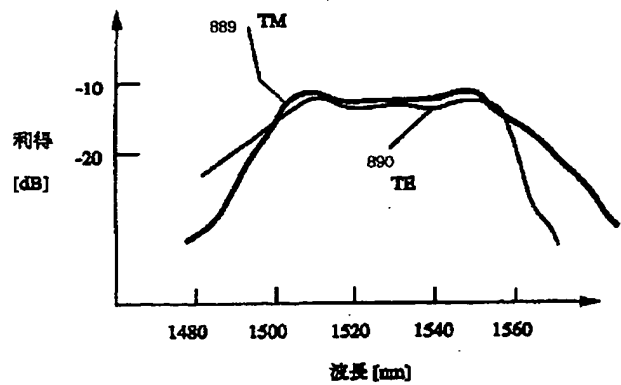
【図 32】



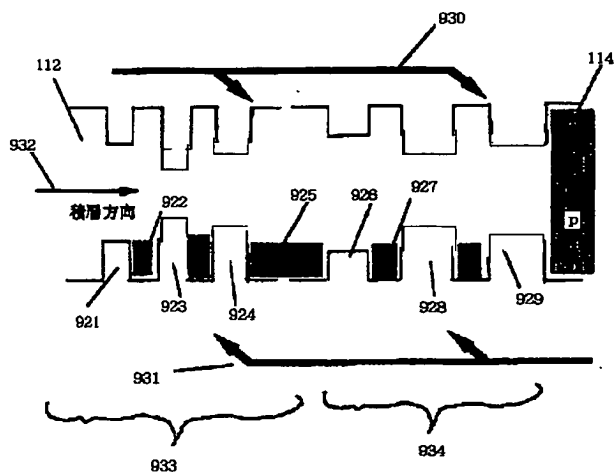
【図 33】



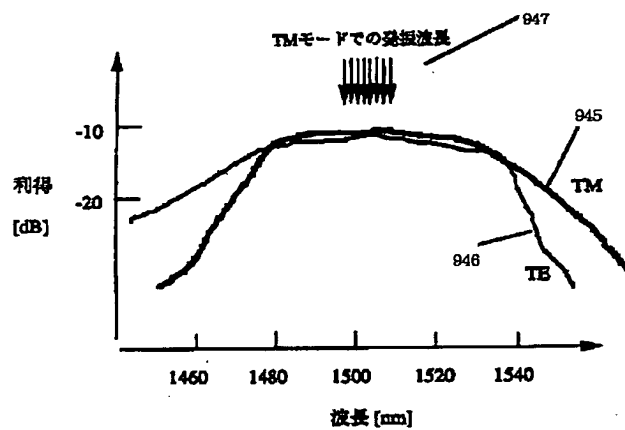
【図 34】



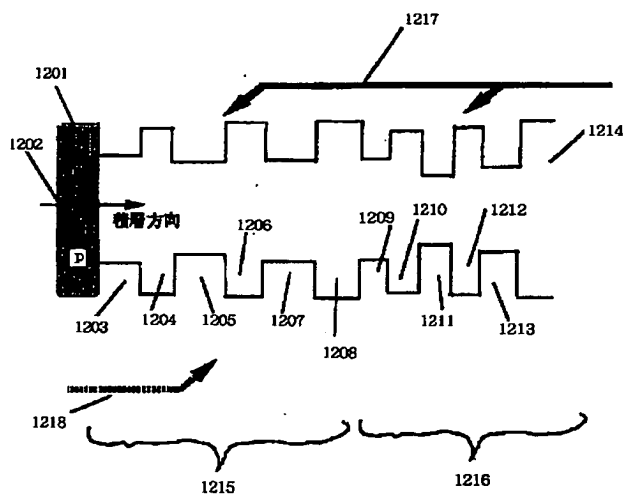
【図 3 5】



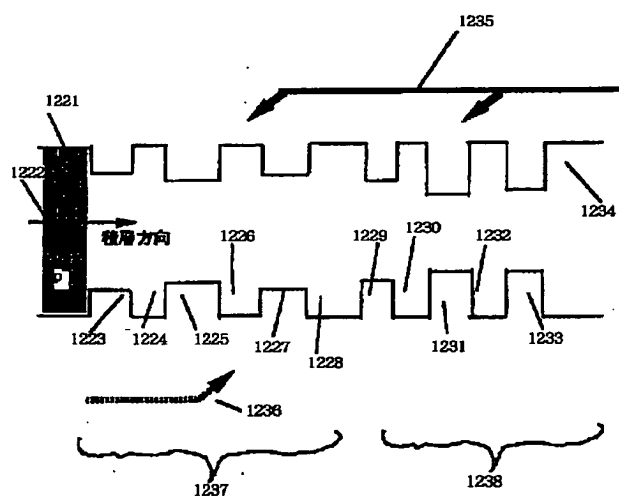
【図 3 6】



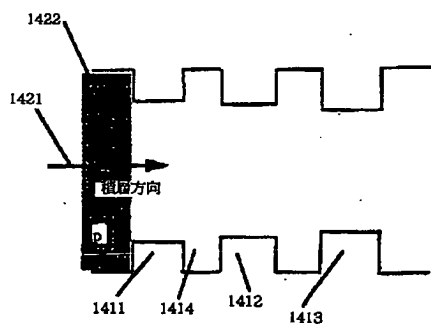
【図 3 7】



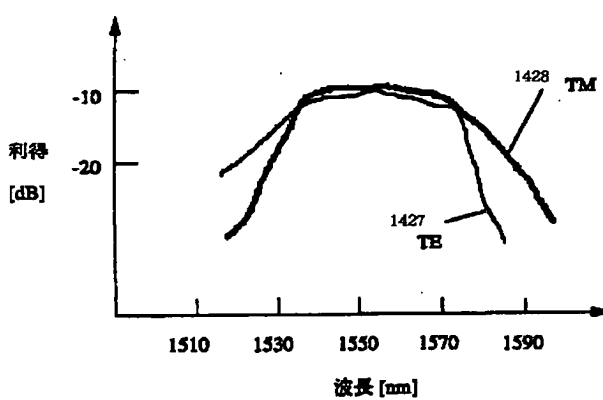
【図 3 8】



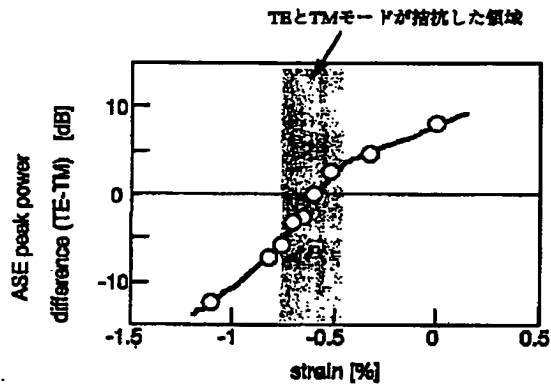
【図 3 9】



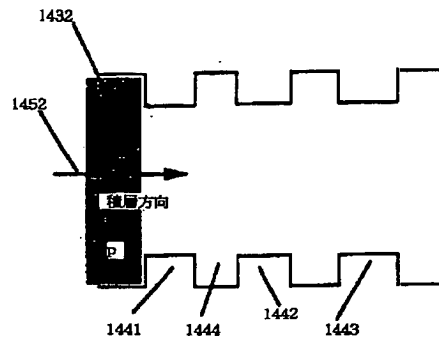
【図 4 0】



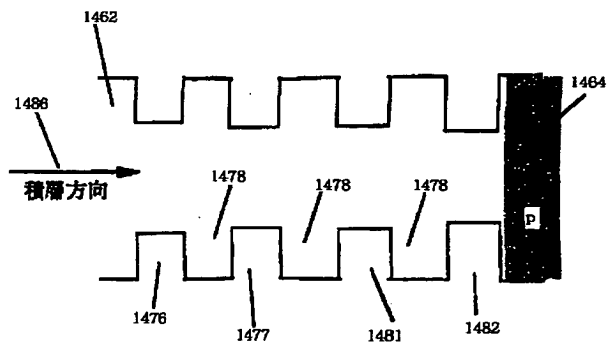
【図 4 1】



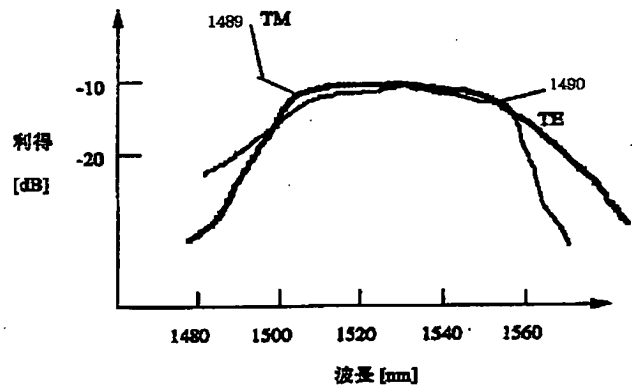
【図 4 2】



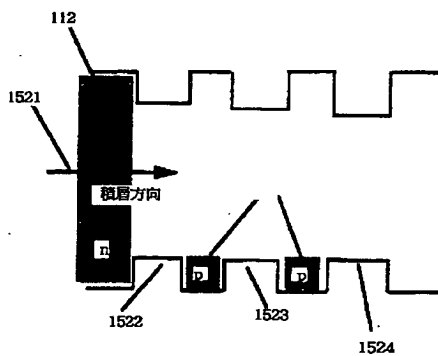
【図 4 3】



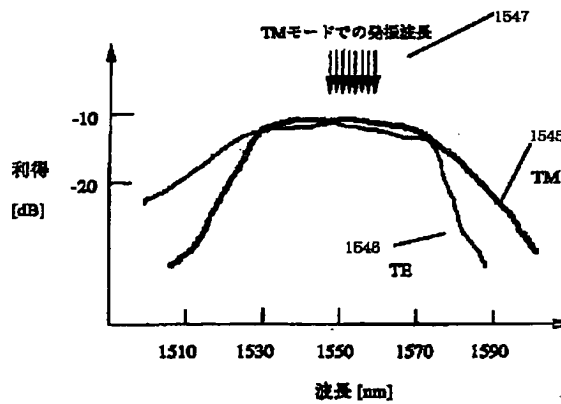
【図 4 4】



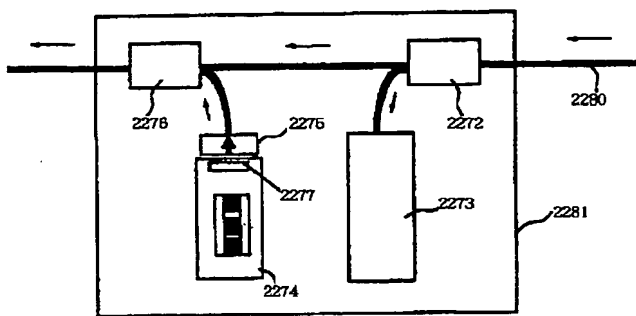
【図 4 5】



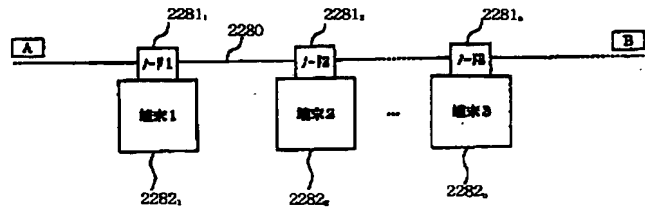
【図 4 6】



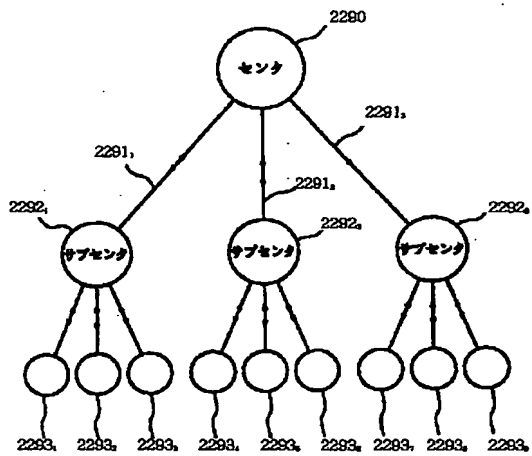
【図 4 7】



【図 4 8】



【図 4 9】



フロントページの続き

(31) 優先権主張番号 特願平9-122927
 (32) 優先日 平9(1997)4月25日
 (33) 優先権主張国 日本(JP)

(31) 優先権主張番号 特願平9-122928
 (32) 優先日 平9(1997)4月25日
 (33) 優先権主張国 日本(JP)